

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

**Laboratorní stanoviště pro měření vlastností snímačů hmotnosti
vzduchu**

Laboratory Station for Air Mass Sensor Measuring

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Josef Opluštil

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2612T015 Elektronika

Téma:

Laboratorní stanoviště pro měření vlastností snímačů hmotnosti vzduchu

Laboratory Station for Air Mass Sensor Measuring

Zásady pro vypracování:

1. Provedte návrh a realizaci laboratorního stanoviště pro měření vlastností snímačů hmotnosti vzduchu.
2. Ověřte funkčnost řídicího systému pro variabilní nastavení množství a teploty vzduchu a dle pokynů vedoucího diplomové práce sestavte typyzovanou laboratorní úlohu.
3. Vypracujte vzorový protokol k měření pro předmět Automobilová elektronika.

Seznam doporučené odborné literatury:

Podle doporučení vedoucího diplomové práce.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Šimoník, Ph.D.**

Datum zadání: 20.11.2009

Datum odevzdání: 07.05.2010

Rec

doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry



Tondra

prof. Ing. Ivo Vondrák, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

Datum:

Podpis:

Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá návrhem a realizací laboratorního stanoviště pro měření vlastností snímačů hmotnosti vzduchu pro oblast automobilové elektroniky. Práce má dvě základní části. První je teoretická, popisuje metody a prostředky pro měření hmotnosti vzduchu u automobilů a důvody proč je důležité toto měření v automobilech provádět. Druhá část je praktická a zabývá jak návrhem laboratorního stanoviště pro měření převodních charakteristik nejrozšířenějších snímačů hmotnosti vzduchu, tak následnou praktickou realizací. V této části je detailně popsán návrh elektronických obvodů a aplikačního softwaru realizovaného zařízení. V příloze textové části diplomové práce je přiložena laboratorní úloha, která dokládá funkčnost realizovaného laboratorního stanoviště.

Klíčová slova:

Snímač hmotnosti vzduchu, PWM, regulace teploty, regulace průtoku vzduchu, USB, MAF.

Abstract:

This thesis deals with design and implementation of the laboratory station for the measurement on the air mass sensors for automotive electronics. The thesis has two basic parts. The first one is theoretical. It's describing the methods and resources for measuring the mass of air and the reasons why to do this measuring in automotive industry. The second part is practical and deals with the design of the laboratory station for measurements of transfer characteristics of the most common air mass sensors and practical implementation of this laboratory station. In this part is described design of electronics circuits and application software in detail. The appendix of the thesis contains laboratory task which demonstrate the functionality of laboratory station.

Key words:

Air-mass sensors, PWM, control of temperature, control of air flow, USB, MAF.

Obsah:

1. ÚVOD	1
2. DŮVODY MĚŘENÍ MNOŽSTVÍ VZDUCHU	2
3. MĚŘENÍ HMOTNOSTI VZDUCHU	4
3.1. ROZDĚLENÍ MĚŘIČŮ HMOTNOSTI VZDUCHU	4
3.2. PRINCIP ČINNOSTI MĚŘIČŮ HMOTNOSTI VZDUCHU	4
3.2.1. Snímače s klapkou (náporový měřič)	4
3.2.2. Měření tlaku v sacím potrubí	5
3.2.3. Ultrazvukové měřiče	5
3.2.4. Snímače na termickém principu	6
3.3. VÝPOČET HMOTNOSTI VZDUCHU	12
4. NÁVRH LABORATORNÍHO STANOVISŤE	13
4.1. POŽADAVKY NA STANOVISŤE	13
4.2. MECHANICKÁ KONSTRUKCE	14
4.3. ELEKTRONICKÁ KONSTRUKCE	15
4.4. PROCESOR:	16
4.5. OBVODY PRO SPOLUPRÁCI S PROCESOREM	21
4.5.1. Zobrazovací zařízení	21
4.5.2. Ovládací tlačítka	22
4.5.3. Interface pro osobní počítač	22
4.6. ZÁKLADNÍ DESKA	24
4.7. DESKA ANALGOVÝCH VSTUPŮ	25
4.8. DESKA VÝKONOVÝCH VÝSTUPŮ	26
4.8.1. PWM výstupy	26
4.8.2. Výstup 230V pro topení	27
4.9. PROGRAMÁTOR PRO PROCESOR	28
5. PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ	31
5.1. PROGRAMOVÁNÍ PIC18F452	31
5.2. PIC18F452 POPIS PROGRAMU	31
5.3. POPIS PROGRAMU PC	36
6. OBSLUHA MĚŘICÍHO STANOVISŤE	39
6.1. OBSLUHA ELEKTRONICKÉ ČÁSTI	39
6.2. OBSLUHA OSTATNÍCH SOUČÁSTÍ STANOVISŤE	40
7. LABORATORNÍ ÚLOHA	41
8. ZÁVĚR	42
9. POUŽITÁ LITERATURA	44

1. Úvod

Moderní automobily obsahují v současné době celou řadu elektronických systémů, které realizují široké spektrum funkcí. Jedná se například o regulaci průběhu spalování palivové směsi v motoru, úpravu jízdních vlastností vozidla, ovládaní bezpečnostních prvků, zajištění komfortu jízdy a podobně. Jedním ze základních elektronických prvků je řídicí jednotka motoru, která má jako hlavní úkol řízení palivové směsi. V současné době je kladen velký důraz na to, aby automobily splňovaly velmi přísné emisní limity. Těchto limitů by nebylo možné dosahovat bez použití moderních elektronických systémů pro řízení motoru. Dalšími požadavky na elektronický systém pro řízení motoru je vysoký výkon, kterého musí být motor schopen dosáhnout při co možná nejnížší spotřebě, tedy účinnosti motoru, protože nedílnou součástí spalování benzínu nebo nafty jsou emise oxidu uhličitého, a ten nejde omezit jinak, než omezením spotřeby paliva. Elektronický systém pro řízení motoru se skládá z řídicí jednotky a velkého množství různých snímačů a čidel, která monitorují hodnoty všech potřebných veličin a poskytují je řídicí jednotce ať již v analogové nebo v digitální formě. Ta podle nich nastaví odpovídající podmínky pro vytvoření směsi. Pro správnou funkci motoru a splnění kladených požadavků jsou senzory nepostradatelnou součástí automobilu. Jedním z takových senzorů je také měřič hmotnosti vzduchu, neboli MAF podle anglické zkratky z Mass Air Flow.

Měřiče hmotnosti vzduchu patří do skupiny základních snímačů power managementu moderních vznětových a zážehových motorů. Poskytují informace o zatížení motoru, což je jedna z nejdůležitějších provozních veličin řízení motoru. Dále měří hmotnost vzduchu spotřebovanou motorem a na základě tohoto údaje určí řídicí jednotka množství paliva v nasávané směsi proto, aby byl nastaven její optimální poměr. Tím se dosáhne požadovaných provozních podmínek pro optimální spálení paliva, kdy je možné z daného poměrového množství získat nejvyšší výkon a současně množství zplodin je minimální.

Diplomová práce je rozdělena do dvou základních částí, kde první část je zaměřena teoreticky, a to na rozbor důvodů pro které se provádí měření hmotnosti vzduchu a na popis základních typů měřičů množství vzduchu. Druhá část se zabývá návrhem laboratorního měřicího stanoviště pro měření vlastností snímačů hmotnosti vzduchu. Toto stanoviště je zaměřeno na, v současné době nejpoužívanější, snímače hmotnosti vzduchu pracující na termickém principu. Tato část také obsahuje popis některých použitých elektronických zapojení a popis softwaru, který je použitý jak na straně samotného navrženého zařízení, tak na straně osobního počítače, který může také ovládat měření skrze programové prostředí LabView a získávat údaje z měřicího stanoviště.

V přílohách k práci je umístěna vzorová laboratorní úloha do předmětu Automobilová elektronika. Její výsledky dokazují funkčnost realizovaného laboratorního stanoviště. Jako další důkaz funkčnosti je v přílohách umístěn také snímek okna programu po skončení automatického měření.

2. Důvody měření množství vzduchu

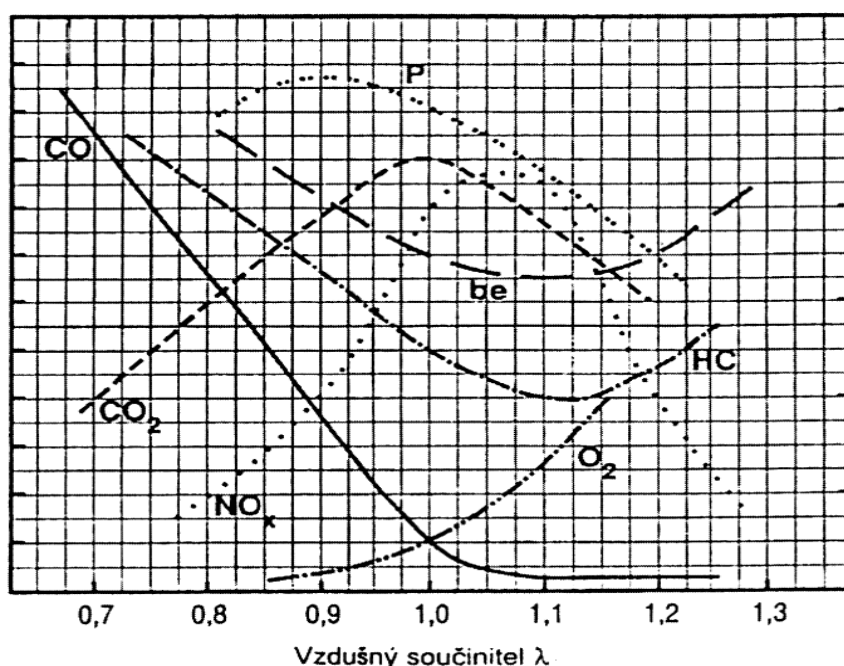
Spalovací motory přeměňují energii obsaženou v palivu na teplo jeho spálením. K tomu aby mohli palivo spálit potřebují kyslík obsažený ve vzduchu. Množství vzduchu potřebného k úplnému spálení paliva bylo stanoveno výpočtem a pro benzínové motory je rovno 14,7kg vzduchu na 1kg paliva.

Směs složená s tímto poměrem paliva a vzduchu se nazývá stechiometrickou. Jestliže je složení směsi v celém spalovacím prostoru homogenní, pak může být směs dokonale spálená. Při tomto spalování se uhlovodíky obsažené v palivu spolu s kyslíkem obsaženým ve vzduchu přemění na oxid uhličitý a vodu.

Ze spousty důvodů ale nebývá tento poměr ve spalovacích motorech dosahován. Složení směsi má však rozhodující vliv na parametry motoru, proto je poměr vzduchu a paliva regulován tak, aby byl pro dané provozní podmínky ideální.

Pro stanovení složení směsi přiváděné do spalovacího prostoru se používá součinitel přebytku vzduchu označovaný řeckým písmenem λ . Součinitel přebytku vzduchu je dán poměrem mezi skutečným množstvím vzduchu a teoretickou hodnotou 14,7 kg vzduchu na 1kg paliva (pro benzínové motory).

Pokud jsou obě hmotnosti shodné, je $\lambda=1$ a směs je stechiometrická. Je-li přiváděné množství vzduchu větší než teoreticky vypočtené, pak vzniká směs s přebytkem vzduchu a součinitel přebytku vzduchu $\lambda>1$. Tato směs je označována jako chudá. Pokud je množství přivedeného vzduchu menší než teoretická hodnota, pak je $\lambda<1$ a směs má přebytek paliva – je označována jako bohatá.



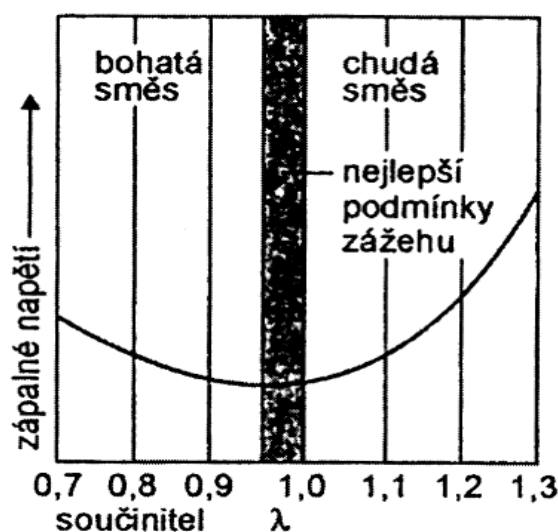
Obrázek 1: Vliv složení směsi na parametry motoru^[1]

Vysvětlivky k obrázku: p – výkon motoru na plochu pístu; b_e – měrná spotřeba vztažená k výkonu motoru; CO , CO_2 , HC , NO_x , O_2 – emise složek výfukových plynů

Ne každá směs paliva a vzduchu může vzplanout a hořet v motoru. Aby se mohla směs zažehnout elektrickou jiskrou je nutné zachovat určitý poměr jejího složení. Tento poměr leží pro benzínové motory v rozmezí $0,5 < \lambda < 1,3$. Změny charakteristik motoru jsou závislé na průběhu změny složení směsi. Obrázek 1 udává závislost parametrů motoru a emisí na složení směsi.

Spotřeba paliva motorem se snižuje s ochuzováním směsi. Na obrázku je vyjádřena měrná spotřeba paliva vzhledem k jednotkovému výkonu motoru. Měrná spotřeba je nejnížší při mírně chudší směsi než je stechiometrická ($\lambda = 1,05$ až $1,15$). Výkon motoru je naopak větší při směsi mírně bohatější ($\lambda = 0,85$ až $0,95$). Zde ale měrná spotřeba roste. Děje se tak vlivem neúplného chemického spalování způsobeného nedostatkem kyslíku.

Složení směsi také ovlivňuje velikost zapalovacího napětí jiskry potřebné pro její zažehnutí. Nejnížší zápalné napětí je v oblasti blízké stechiometrické směsi. Taková směs se snadno zapálí, a proto může být výkon zapalovací soustavy poměrně malý.



Obrázek 2: Vliv složení směsi na zápalné napětí^[1]

3. Měření hmotnosti vzduchu

3.1. Rozdělení měřičů hmotnosti vzduchu

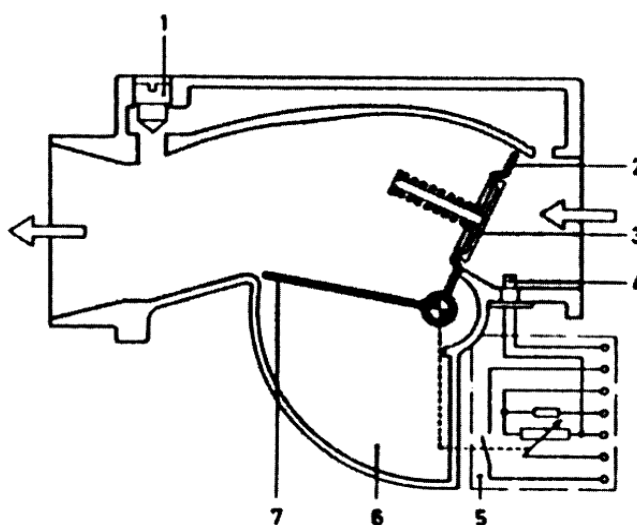
Hmotnost nasávaného vzduchu lze zjišťovat různými způsoby. A to:

- pomocí mechanické klapky,
- měřením tlaku v sacím potrubí,
- pomocí ultrazvuku,
- pomocí termické metody.

3.2. Princip činnosti měřičů hmotnosti vzduchu

3.2.1. Snímače s klapkou (náporový měřič)

Tyto měřiče pracují na principu vychylování mechanické klapky, která je umístěna do proudu vzduchu a je vracena do klidové polohy přitlačnou pružinou. Klapka je mechanicky spojená s potenciometrem, který její výchylku převádí na elektricky měřitelnou veličinu. Potenciometr má logaritmickou závislost, aby citlivost měřiče byla nejvyšší při malých množstvích vzduchu. Součástí snímače je i teplotní čidlo, protože takto měřené množství vzduchu je závislé na teplotě.



1:stavěcí šroub; 2:náporová klapka; 3:doraz; 4:snímač teploty; 5:potenciometr; 6:tlumící objem;
7: kompenzační klapka

Obrázek 3: Snímač s klapkou^[1]

Aby nebyla poloha měřicí klapky ovlivňována pulzacemi v sání, které vznikají vlivem otevírání a zavírání sacích ventilů a zdvihem válců, je s ní pevně spojena kompenzační klapka.

Měřicí klapka snímá všechno množství vzduchu nasávané motorem, ale při volnoběžných otáčkách by neměla být ve funkci. Proto je vybavena obtokem vzduchu pro volnoběžné otáčky. Obtok je vybaven stavěcím šroubem pro nastavení klidového procházejícího množství vzduchu.

3.2.2. Měření tlaku v sacím potrubí

Jako řídící veličina pro určování množství vstřikovaného paliva může být také použit absolutní tlak v sacím potrubí. Absolutní tlak v sacím potrubí za škrticí klapkou je vždy menší než okolní atmosférický tlak. Při uzavřené klapce je tlak nejnižší a při jejím otevírání se tlak zvyšuje. Tlak je měřen snímačem tlaku vhodně umístěným za škrticí klapkou. Signál ze snímače je přiveden do řídící jednotky a ta určí délku vstřiku. Při výpočtu délky vstřiku se vychází ze standardních podmínek pro teplotu 25°C a tlak okolního vzduchu v nadmořské výšce 0m. Hustota vzduchu se ale mění s tlakem, a proto se výsledná hustota vypočítá pomocí signálů ze snímačů tlaku v sacím potrubí a teploty nasávaného vzduchu. Objem vzduchu vynásobený touto hustotou pak udává hmotnost vzduchu spotřebovaného motorem.

Protože snímač tlaku nereaguje dostatečně rychle, musí být soustava doplněna o snímače maximálního a minimálního otevření škrticí klapky pro rychlé obohacení směsi při rychlém otevření škrticí klapky a podobně.

Pro dobu vstřiku se pak sestaví tabulka, kde je tato doba závislá na absolutním tlaku v sacím potrubí, na otáčkách a na provozních podmínkách.

Měřiče tlaku pro tyto účely nejčastěji pracují na induktivním principu nebo se také používají polovodičové snímače pracující na principu piezorezistivního jevu.

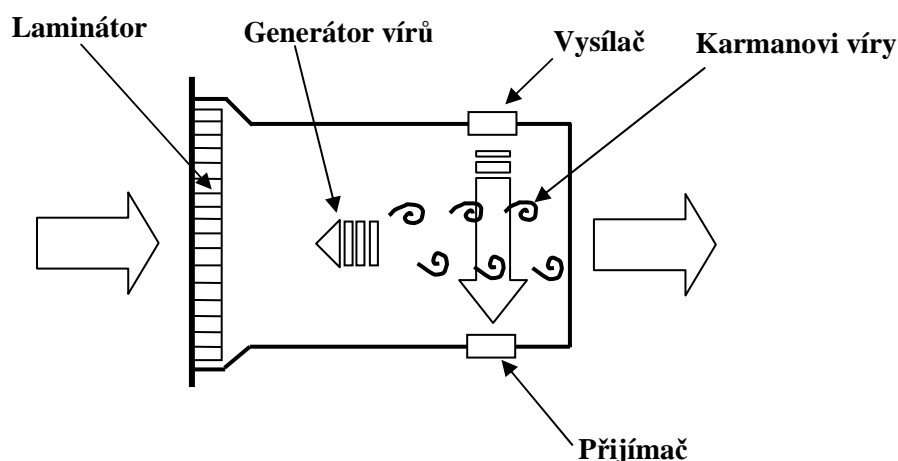
3.2.3. Ultrazvukové měřiče

Ultrazvukové měřiče měří rychlost proudění v sacím potrubí na základě von Karmanova jevu. Princip je následující:

Proud vzduchu se na vstupu upraví laminátorem na laminární. V laminárním proudu se kolíkem (generátorem vírů) vytvoří vířivé nesymetricky uspořádané vzdušné víry (Karmanova řada). Víry jsou urovnány lamelami tlumiče vírů a prochází přes ultrazvukový signál.

Ultrazvukový signál je vytvářen generátorem ultrazvuku a po průchodu proudem vzduchu je přijímán. Rychlost šíření ultrazvukových vln je ovlivňována vzduchovými víry. Tato závislost je měřena a vyhodnocována. Počet vzduchových vírů je úměrný průtoku vzduchu.

U tohoto typu měřiče je opět nutné použít teplotní čidlo pro korekci nastavení množství vstřikovaného paliva. Měřič nemá žádné pohyblivé části a tudíž nemá žádnou mechanickou setrvačnost. Tepelná setrvačnost u tohoto typu měřiče je také nepatrná. Na obrázku 4 je náčrt tohoto snímače.



Obrázek 4: Ultrazvukový snímač

3.2.4. Snímače na termickém principu

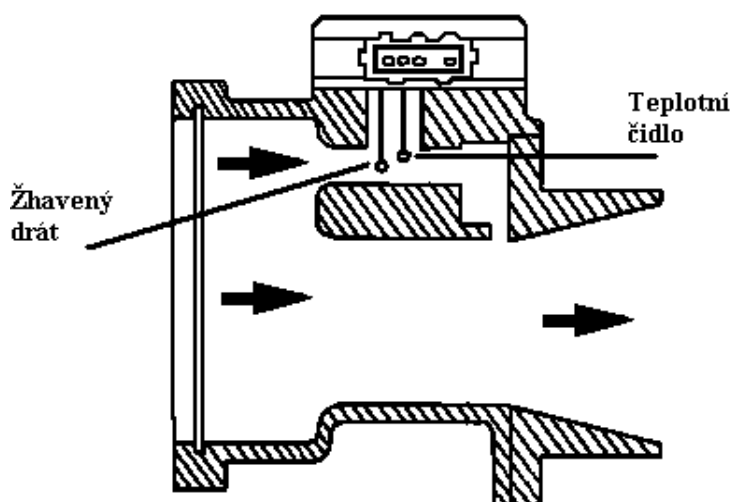
Nejmodernější a nejpoužívanější je termická metoda měření hmotnosti nasávaného vzduchu. U ní se používají dvě základní konstrukce snímačů hmotnosti vzduchu. A to:

- se žhaveným drátem,
- s vyhříváním filmem.

Snímače se žhaveným drátem:

U měřiče hmotnosti vzduchu se žhaveným drátem je vyhřívané tělísko tvořeno 70 μm tenkým platinovým drátkem. Ten se ohřívá proudem tak, aby jeho teplota byla vždy vyšší než je teplota okolního vzduchu. Pro kompenzaci teploty nasávaného vzduchu je v tělese měřiče integrován snímač teploty.

Žhavicí elektrický proud vytváří na přesném měřicím odporu napětový signál úměrný hmotnosti proudu vzduchu, který je přiváděn k řídicí jednotce. Pro minimalizaci nepřesností způsobených usazeninami na platinovém drátku, je při každém vypnutí motoru žhavený drát na jednu sekundu rozžhaven na vysokou teplotu. Tím se případné usazené nečistoty spálí, popř. odpaří a drátek se tak vyčistí. Konstrukce tohoto snímače je znázorněna na obrázku 5.



Obrázek 5: Snímač se žhaveným drátem

Snímače s vyhříváním filmem:

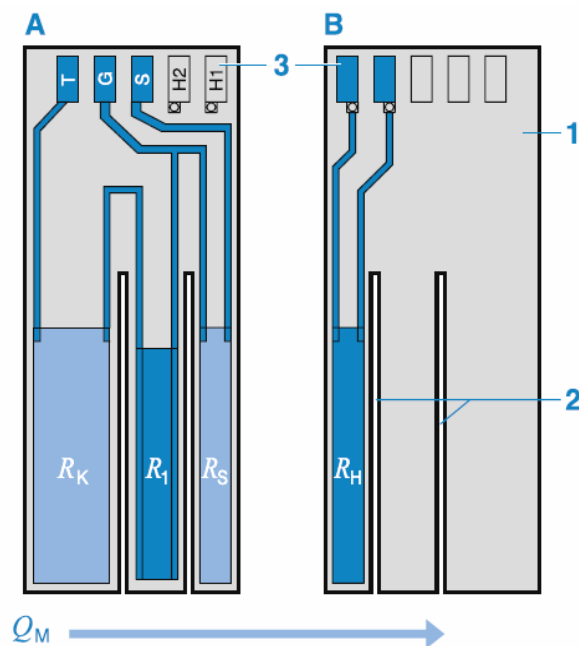
Snímač hmotnosti vzduchu s vyhříváním filmem je modernějším typem snímače hmotnosti vzduchu a funguje následovně:

Měřicí element, tvořený keramickou destičkou, je opatřen tenkými kovovými ploškami (kovovým filmem). Jednou z nich je elektricky vyhříváný platinový rezistor R_H . Od něj se ohřívá plošný měřicí rezistor R_S , který je umístěn na druhé straně keramické destičky. Měřicí rezistor snímá teplotu vyhřívacího rezistoru. Na destičce jsou dále umístěny plošky představující rezistory R_K , který slouží pro teplotní kompenzaci a R_1 , který je s ním zapojen do série. Tyto rezistory (plošky) představují polovinu odporového můstku. Druhá polovina můstku je umístěna mimo tuto keramickou destičku a je tvořena rezistory R_2 a R_3 . Celý měřicí můstek je spojen s vyhodnocovacím obvodem.

Je-li měřicí element umístěn podélně do proudu vzduchu tak, že obě strany keramické destičky jsou obtékány nasávaným vzduchem, jsou jím rezistory ochlazovány. Vyhřívací rezistor je napájen proudem tak, aby jeho teplota byla vyšší než je teplota nasávaného vzduchu.

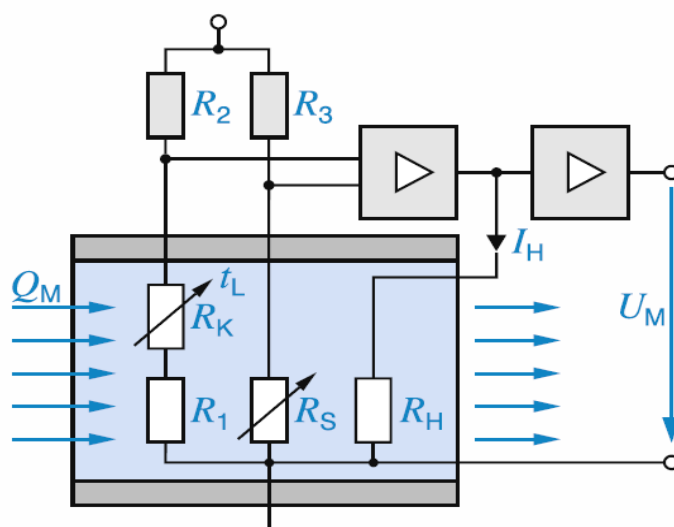
Úkolem vyhodnocovacího obvodu je regulovat proud do vyhřívacího rezistoru tak, aby udržoval konstantní rozdíl mezi jeho teplotou a teplotou nasávaného vzduchu při jeho libovolném množství. Např. prochází-li měřičem hmotnosti jen malé množství nasávaného vzduchu, pak se rezistory ochlazují jen minimálně a tudíž je potřeba jen malý proud pro udržení konstantní teploty na vyhřívacím rezistoru. Naopak prochází-li měřičem velký hmotnostní tok vzduchu, odebírá s sebou velkou dávku tepla a tudíž pro udržení konstantního teplotního rozdílu je nutné vyhřívací proud zvýšit. Na výstupu regulačního prvku pak vzniká výstupní napěťový signál, jehož velikost je úměrná vyhřívacímu proudu a tím pádem i hmotnostnímu toku vzduchu, který prochází měřičem.

Takto konstruovaný měřič hmotnosti vzduchu je schopen měřit pouze pro jeden směr protékajícího vzduchu. Jedná se například o měřič HFM 2 firmy Bosch.



A	Přední strana snímače	R_K	Snímač pro kompenzaci teploty
B	Zadní strana snímače	R_H	Vyhřívací rezistor
1	Keramický substrát	R_S	Snímací rezistor
2	Dva prořezy	R₁	Rezistor můstku
3	Kontakty	Q_M	Proud vzduchu

Obrázek 6: Snímač s vyhřívaným filmem – uspořádání^[5]

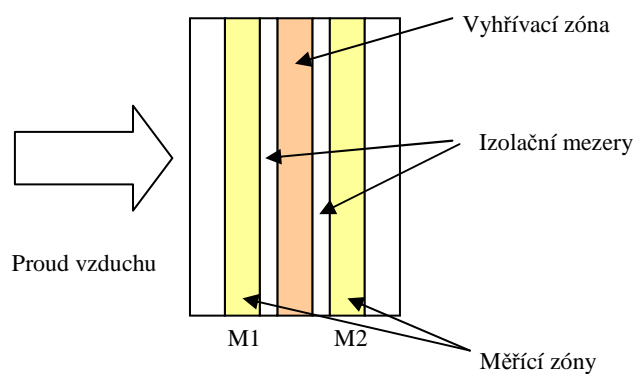


t_L	Teplota vzduchu	R_K	Snímač pro kompenzaci teploty
I_H	Vyhřívací proud	R_H	Vyhřívací rezistor
U_M	Měřené napětí	R_S	Snímací rezistor
		R_1, R_2, R_3	Rezistory můstku
		Q_M	Proud vzduchu

Obrázek 7: Snímač s vyhříváním filmem – blokové schéma^[5]

Snímače, které jsou schopny rozlišit směr proudění fungují také na termickém principu, ale jejich provedení je odlišné od již popsaného.

Rozlišení směru proudění je důležité z hlediska dosažení větší přesnosti měření, protože zohledňuje zpětné proudění vznikající vlivem pulzací v sání. Jedná se například o snímač HFM 5 firmy Bosch.

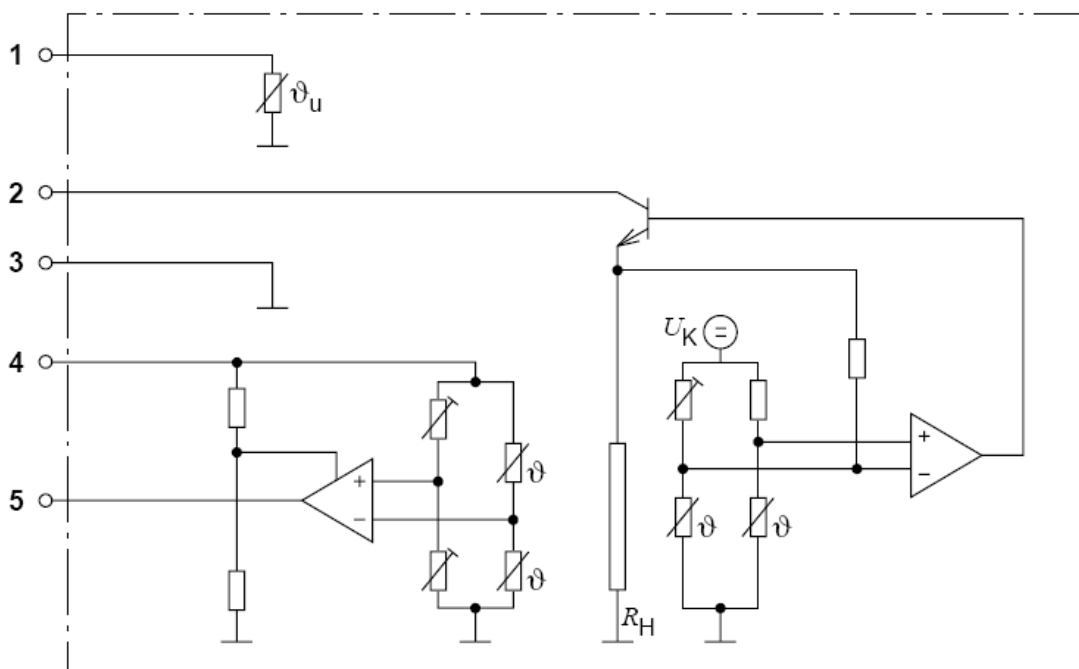


Obrázek 8: Měřící element měřiče HFM5

Ten má na polovodičové destičce opět vytvořenou vyhřívací zónu (plošku) a, na rozdíl od předchozího snímače, dvě měřicí plošky uspořádané symetricky proti vyhřívací zóně (M1 a M2). Ploška M2 je umístěna na straně motoru a ploška M1 na straně vzduchového filtru. Když je motor v klidu (nenasává vzduch), pak je rozložení teploty mezi oběma měřicími ploškami symetrické. Jestliže motor nasává vzduch, je ploška M1 tímto vzduchem ochlazována. Ploška M2 je taky ochlazována, ale prouděním se na ní přenáší více tepla z vyhřívané zóny měřiče a tím je její teplota vyšší než plošky M1. Při opačném směru proudění je tomu naopak. Ploška M2 se ochlazuje více a M1 méně. Takto vzniklý rozdíl teplot je mírou pro hmotnost nasávaného vzduchu. Navíc je tento princip téměř nezávislý na absolutní teplotě nasávaného vzduchu.

Dále se od měřiče HFM 2 liší tím, že jeho měřicí element (polovodičová destička) není umístěn přímo v proudu nasávaného vzduchu, ale je umístěn v měřicím kanálku, který zajišťuje klidné proudění vzduchu bez víření kolem snímacího prvku. Měřicí element je také o dost menší než u senzoru HFM 2 a proto má i menší tepelnou setrvačnost.

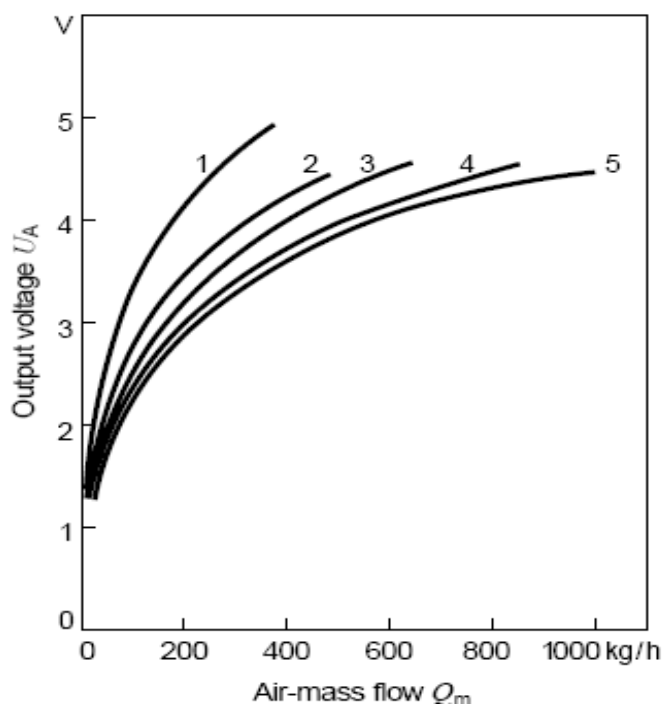
Elektrický obvod měřiče HFM 5 je znázorněn na obrázku 9. Skládá se ze dvou rozdílových zesilovačů, jeden vyhodnocuje rozdíl odporů měřicích rezistorů (rozdíl jejich teplot) a výstupem je signál odpovídající hmotnostnímu toku vzduchu. Druhý rozdílový zesilovač udržuje konstantní teplotu vyhřívacího rezistoru R_H a kompenzuje vliv kolísání okolní teploty. Senzor ještě obsahuje i termistor NTC, který poskytuje řídicí jednotce informaci o aktuální teplotě nasávaného vzduchu.



Obrázek 9: Zapojení měřiče HFM 5^[2]

Měřiče hmotnosti vzduchu HFM 5 jsou vyráběny ve více provedeních. Ty se od sebe liší průběhem převodní charakteristiky. Více průběhů převodních charakteristik se používá proto, že každý motor má jiné maximální množství nasávaného vzduchu a proto by nebyla zachována požadovaná přesnost měření.

Firma Bosch vyrábí měřič HFM 5 v pěti provedeních, lišící se převodní charakteristikou a maximálním průtokem vzduchu, který jsou schopny změřit.



Obrázek 10: Převodní charakteristika měřiče HFM 5^[2]

Měřič s charakteristikou číslo 1 se používá u maloobjemových motorů do objemu 1200cm^3 . Měřič číslo 2 se používá u nejběžněji používaných motorů o objemu $1400 - 2400\text{cm}^3$. Měřič číslo 3 se používá pro motory o objemu od 2500 do 3000cm^3 . Poslední dva měřiče se používají u méně běžných velkoobjemových motorů.

Všechny snímače mají výstupní napětí v rozsahu $0 - 5\text{V}$, kdy nulovému průtoku vzduchu odpovídá napětí 1V . Napětí větší než 1V odpovídají proudění vzduchu do motoru a hodnoty menší než 1V odpovídají zpětnému proudění.

Tyto snímače hmotnosti vzduchu jsou v současné době nejvíce používané, protože s nimi lze dosáhnout nejlepších výsledků.

3.3. Výpočet hmotnosti vzduchu

Pro čtyřdobý motor platí následující vztah:

$$M_{vzd} = V_{mMot} \cdot \eta \cdot n_{mot} / 2 \cdot \rho \cdot (p / p_0)^{1/n} \cdot 60 / 10^6 \quad [5]$$

kde M_{vzd} je hmotnost nasávaného vzduchu v kilogramech za hodinu, η je účinnost plnění, protože se spalovací prostor naplní vždy menším množstvím vzduchu, než je jeho objem, n_{mot} jsou otáčky motoru v min^{-1} . ρ je hustota vzduchu, pro teplotu 20°C a tlak 0,981 baru je to $1,164\text{kg/m}^3$. p je tlak vzduchu za turbodmychadlem v barech. p_0 je tlak vzduchu před turbodmychadlem. n_0 je polytropický exponent, pro vzduch je jeho hodnota 1,25.

Jednotka kg/hod pro vyjádření množství nasávaného vzduchu se používá většinou pro zážehové motory, u vznětových motorů se častěji používá jednotka mg/zdvih . Převod mezi kg/hod a mg/zdvih se provede následovně:

nejprve je potřeba vypočítat počet sacích zdvihů za hodinu

$$\text{počet sacích zdvihů} = n_{mot} \cdot i / 2 \cdot 60$$

n_{mot} ... je zdvihový objem motoru

i ... je počet válců,

pak se tímto číslem vynásobí hmotnost vzduchu v kg/hod a dostaneme výsledek v kg/zdvih , ten se už jen převede na jednotku mg/zdvih .

Jednotka mg/zdvih má výhodu v tom, že je téměř nezávislá na otáčkách motoru a tím pádem vyjadřuje přímo zatížení motoru. Závislost na otáčkách je tu způsobena jen účinností plnění, která není pro celé spektrum otáček konstantní, ale se zvyšujícími se otáčkami klesá.

4. Návrh laboratorního stanoviště

4.1. Požadavky na stanoviště

- Schopnost regulovat množství vzduchu podle požadavků,
- schopnost regulovat teplotu protékajícího vzduchu podle požadavků,
- možnost měření parametrů u alespoň dvou měřičů hmotnosti vzduchu,
- možnost komunikace s nadřazeným systémem (PC),
- možnost spolupráce tohoto zařízení s jinými.

Schopnost regulovat množství vzduchu podle požadavků:

Tato funkce je klíčová pro měření vlastností snímačů hmotnosti vzduchu. Tento měřicí systém musí být schopen nastavit a udržet požadované množství protékajícího vzduchu, aby bylo možné za ustálených podmínek měřit signály z měřičů hmotnosti vzduchu.

Jako zdroj proudu vzduchu je použit ventilátor s bezkartáčovým stejnosměrným motorem, který je napájen napětím 12V. Pro jeho řízení je použita nejefektivnější metoda – pulzně šířková modulace (PWM). PWM je vytvářena procesorem PIC18F452, který umožňuje nastavit kmitočet v rozsahu od 2,5 kHz do asi 400 kHz. Procesor umožňuje nastavit střídu v rozmezí 0 – 100%. Pro účely tohoto stanoviště plně postačuje frekvence 39,06 kHz s rozlišením 10-ti bitů. Tato frekvence je dost vysoká na to, aby již nebyla slyšitelná pro lidské ucho a zároveň není moc vysoká, aby ji bylo možné spínat běžně dostupnými tranzistory MOSFET při dosažení malých spínacích ztrát..

Schopnost regulovat teplotu protékajícího vzduchu

Tato funkce zajišťuje měření tepelné závislosti měřičů hmotnosti vzduchu. Tyto měřiče by měli být teplotně nezávislé, a proto musí být možnost toto ověřit měřením.

Jako zdroj tepla je použita odporová topná spirála o výkonu 1200W, která je umístěna do proudu nasávaného vzduchu. Tím tento vzduch ohřívá. Za ní je umístěno teplotní čidlo, které měří teplotu procházejícího vzduchu a zároveň slouží jako zpětná vazba pro procesor, který tuto teplotu reguluje. Odporová spirála je napájena ze sítového napětí 230V, které se spíná triakem. Triak má předřazen optočlen, který je vybaven funkcí spínání v nule. Tato funkce je důležitá z hlediska minimalizace rušení vlivem spínání na tak velké zátěži. Zároveň je tím zajištěno i galvanické oddělení ovládací části od sítě.

Možnost měření parametrů

Možnost měření je zajištěna AD převodníkem, který je implementován v procesoru. Ten má při využití jednoho referenčního vstupu 7 kanálů, které se postupně dají přepínat pro měření. Jeden kanál je využit pro měření teploty, a další jeden pro měření průtoku vzduchu referenčním měřičem hmotnosti vzduchu. Měřitelný rozsah je na všech kanálech 0 – 5,115V, což je plně dostačující, protože výstupní signály z měřičů hmotnosti vzduchu leží v tomto rozsahu. Jeden kanál je rezervován pro funkci dálkového řízení. Zbylé čtyři kanály jsou plně k dispozici pro měření. Protože se jedná o mikroprocesorový systém, je možné se změřenými údaji ještě dále pracovat.

Možnost komunikace s nadřazeným systémem

Tato funkce umožňuje ovládat měření, získávat a vyhodnocovat data z měření pomocí osobního počítače. Zde je pak možnost s těmito daty dále pracovat mnohem efektivněji a jednodušeji než v tomto jednoduchém mikroprocesorovém systému. Mikroprocesorový systém pro měření vlastností měřičů hmotnosti vzduchu je vybaven interfacem pro komunikaci s osobním počítačem přes sběrnici USB.

Tato spolupráce je zajištěna programovým vybavením jak na straně mikroprocesorového systému, tak na straně osobního počítače. Tato funkce zajišťuje ovládání celého systému, jako je nastavení průtoku vzduchu, nastavení teploty protékajícího vzduchu a měření na připojených čidlech. Dále je software vybaven možností automatického měření, které je schopno proměřit všechny měřiče v celém rozsahu množství vzduchu a teplot a výsledky zaznamenat do grafů.

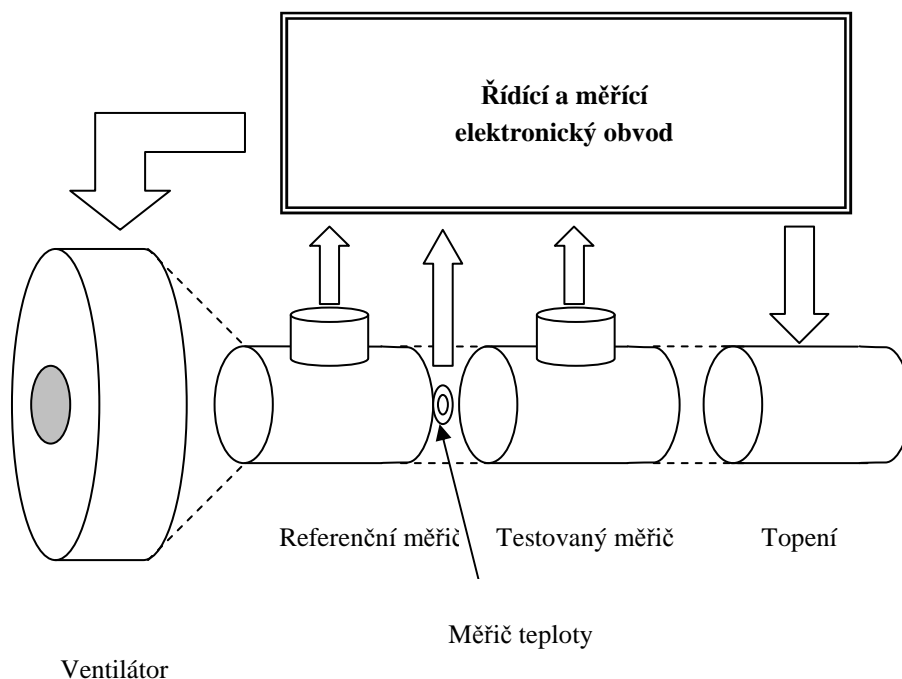
Možnost spolupráce tohoto zařízení s jinými zařízeními

Tato funkce by měla umožňovat ovládání množství vzduchu, a tím pádem i napětí na měřících hmotnosti vzduchu podle požadavků připojeného systému. Tato kompatibilita je zajištěna buď analogovým vstupem s rozsahem 0 – 10V, nebo digitálními signály, například po sběrnici I²C nebo jinými.

4.2. Mechanická konstrukce

Mechanicky je potřeba provést propojení vzduchového zdroje (ventilátoru), referenčního snímače množství vzduchu, měřeného snímače množství vzduchu a zdroje tepla. Tyto prvky jsou propojeny podle obrázku 11. Tepelný zdroj je umístěn na začátku řetězce, za ním jsou umístěny měřiče hmotnosti vzduchu. Na konci je umístěn ventilátor, který nasává vzduch přes všechny předchozí části. Vzduch se v topení ohřeje na požadovanou teplotu, dále už ohřátý proudí přes měřiče hmotnosti a nakonec je ventilátorem vyfukován do prostoru. Pro regulaci teploty je v řetězci vhodně umístěno teplotní čidlo, které poskytuje zpětnou vazbu

mikroprocesorovému systému o aktuální teplotě vzduchu. Množství vzduchu je ovládáno otáčkami ventilátoru. Zpětná vazba množství vzduchu je poskytována referenčním měřičem hmotnosti vzduchu.

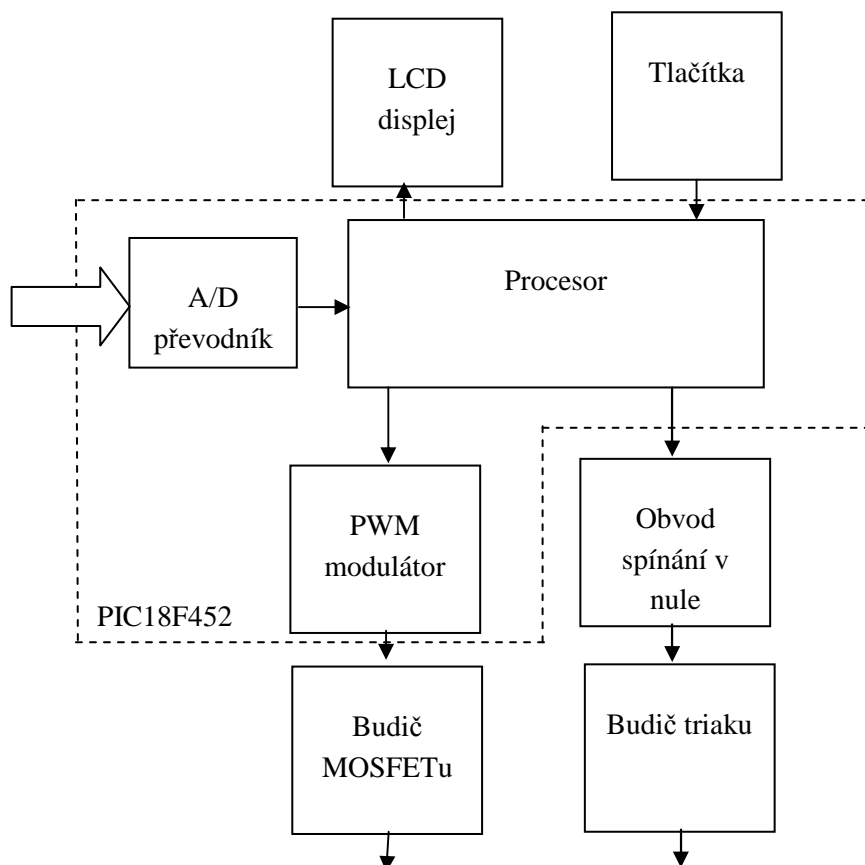


Obrázek 11: Blokové schéma měřícího stanoviště

4.3. Elektronická konstrukce

Zařízení je provedeno na třech samostatných deskách plošných spojů. První deska obsahuje samotný procesor a obvody pro komunikaci s osobním počítačem. Druhá deska obsahuje analogové vstupy s podpůrnými obvody, jako je napěťová reference. Třetí deska je tvořena výkonovou částí celého zařízení. Obsahuje výkonové tranzistory MOSFET a jejich budiče, triak a obvod pro galvanické oddělení a nakonec signalizaci činnosti spínačů. Konstrukce na třech deskách je zvolena z důvodů minimalizace vlivu rušení od výkonových spínačů. Tyto tři desky ještě doplňuje deska zdroje, který zajišťuje všechna potřebná napájecí napětí důležitá pro činnost celého zařízení.

Blokové schéma elektronické části laboratorního stanoviště je zobrazeno na obrázku 12. Většina funkcí je ovládána přímo samotným procesorem PIC a jeho vnitřními periferními obvody.



Obrázek 12: Blokové schéma elektronické části stanoviště

4.4. Procesor:

Srdcem celého zařízení je procesor firmy Microchip PIC18F452. Jedná se o osmibitový procesor, pracující na frekvenci 40MHz. Je schopen zpracovat 10 milionů instrukcí za sekundu. Obsahuje v sobě hardwarovou násobičku, takže je schopen relativně rychle zpracovávat jednoduché aritmetické operace. Umožňuje sériové programování přímo v zařízení pomocí dvou vodičů (ICSP). Procesor obsahuje i následující periferie, které jsou v tomto měřicím systému využity:

AD převodník:

AD převodník je u tohoto procesoru pouze jeden. Jedná se o desetibitový kompenzační převodník s postupnou aproximací. To zajišťuje konstantní dobu převodu, která je poměrně krátká. U toho procesoru je doba převodu odpovídající 12-ti hodinovým impulsům. Výrobce doporučuje minimální dobu jednoho hodinového impulsu je 1,6μs. Proto je maximální vzorkovací frekvence přibližně 52kHz. Pro naše účely je tato frekvence naprosto dostačující.

Vstup tohoto AD převodníku může být dále přepínán na jeden z osmi vývodů umístěných na procesoru, takže je možné postupně měřit až osm kanálů. Nevýhodou tohoto uspořádání je

to, že se není možno změřit napětí na všech kanálech v jednom čase. To ale pro naše měření není potřeba, protože celý systém nemá takovou dynamiku, aby docházelo k výrazným chybám vlivem toho, že se neměří všechny kanály v jednom čase.

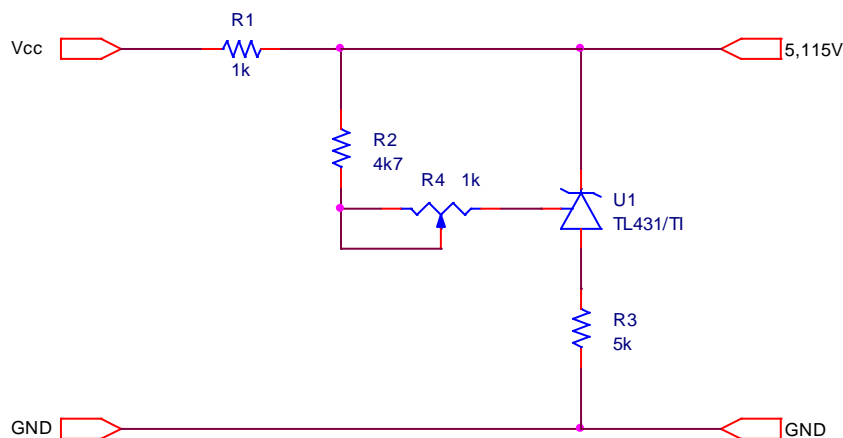
AD převodník má více způsobů získávání referenčního napětí:

- Kladné i záporné referenční napětí je získáváno z napájení procesoru. Tato možnost je nejméně vhodná, protože referenční napětí může hodně kolísat vlivem vnitřních pochodů v procesoru, ale na druhou stranu nepotřebuje vstupy REF+ a REF-, které mají sdílený vývod s analogovými vstupy a tudíž je možné využít všech osmi analogových vstupů.

- Kladné i záporné napětí je získáváno z referenčních zdrojů. Toto zapojení je nejvhodnější z hlediska přesnosti a rozsahu měřených hodnot. Tímto se ale připravíme o dva měřící kanály.

- Poslední možností je získání kladného referenčního napětí z externího referenčního zdroje a záporné referenční napětí je pak odvozeno od signálové země procesoru. Toto zapojení je nejvýhodnější z hlediska počtu vstupů a přesnosti měření.

Jako zdroj referenčního napětí je použit obvod TL431. Jedná se o nastavitelný paralelní napěťový zdroj. Ke své funkci mu stačí pouze jeden předřadný rezistor, na kterém se vytvoří úbytek napětí. Takto zapojený má ale na svém výstupu pouze napětí 2,5V. Aby bylo možné toto napětí nastavit v námi zvoleném rozsahu, je potřeba jej zapojit podle obrázku 7. Pro naše účely měření napětí na desetibitovém AD převodníku je nejvhodnější referenční napětí 5,115V. Je to z důvodu toho, že jeho maximální hodnota je 1023 a jejím jednoduchým přenásobením číslem 5 vypočteme napětí v milivoltech bez nutnosti složitějších výpočtů, nebo použití desetinných čísel. Při takto nastaveném převodníku máme možnost měřit napětí na jednom ze sedmi vstupních kanálů a to v rozsahu 0 – 5,115V s rozlišením 5mV na jeden bit. Podle výrobce procesoru je proud potřebný pro napájení referenčního vstupu 150μA, proto je proud referenčním zdrojem nastaven na 9mA, aby byl zdroj dostatečně „tvrdý“. Obvod TL431 by měl pracovat v proudovém rozsahu 1 – 100mA a jeho napětí může dosahovat hodnot 2,5 – 36V. Přesnost nastaveného napětí by měla být podle výrobce 2% v celém rozsahu.



Obrázek 13: Zdroj referenčního napětí

Všechny analogové vstupy jsou dodatečně vybaveny filtry, které odstraní z měřeného signálu vyšší frekvenční složky. Frekvence těchto filtrů je nastavena na přibližně 7kHz, protože měříme jen relativně pomalu se měnící signály. Ke každému analogovému vstupu je navíc připojen paralelně rezistor s odporem 330kΩ. Tento rezistor zajišťuje vybíjení vnitřních kapacit převodníku procesoru při nezapojeném vstupu.

Vstupní impedance analogového vstupu je závislá na napájecím napětím procesoru a na vzorkovací frekvenci sample/hold obvodu uvnitř procesoru a pro maximální frekvenci AD převodníku je 34kΩ. Výrobce doporučuje minimální impedanci zdroje signálu 2,5kΩ.

Jako ochrana analogových vstupů před poškozením vlivem velkého kladného nebo záporného napětí jsou na každém vstupu připojeny ochranné diody. Jedna proti kladnému napájecímu napětí a jedna proti signálové zemi. Tyto diody jsou implementovány v procesoru výrobcem a proto je není nutné osazovat externě. Jejich nevýhodou ale je, že nám zároveň omezují velikost měřeného napětí na rozsah přibližně -0,6 – 5,6V. To ale v našem případě nevadí.

PWM výstupy:

Procesor PIC 18F452 ve svém jádru obsahuje 2 Capture/Compare/PWM jednotky (CCP). Tyto jednotky mají více funkcí jak je již z názvu patrné.

Mód capture: Podle události na vstupním pinu procesoru se do vnitřních registrů zapíše hodnota z jednoho ze dvou časovačů. Spouštěcí událostí může být:

- každá sestupná hrana signálu na vstupu,
- každá vzestupná hrana,
- každá čtvrtá vzestupná hrana,
- každá šestnáctá vzestupná hrana vstupního signálu.

Tento mód je asi nejvhodnější pro měření frekvence nebo délky pulzů.

Mód compare: Při tomto módu je porovnávána hodnota nastavená v compare registru s hodnotou v jednom ze zvolených časovačů. Při shodě obou hodnot se na výstupu CCP jednotky provede jedna z následujících akcí:

- výstup se nastaví do úrovně H,
- výstup se nastaví do úrovně L,
- změní se hodnota výstupu,
- neprovádí se žádná změna výstupu.

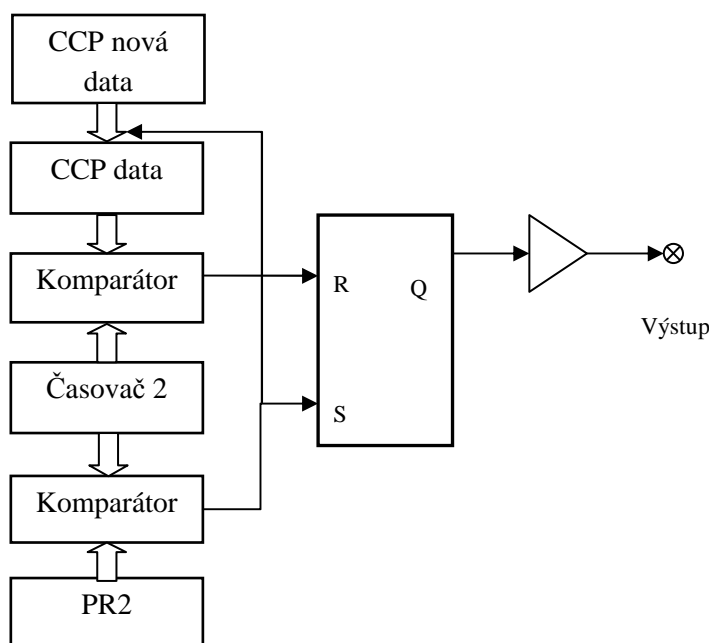
Mód PWM: Při tomto módu se na výstupu CCP jednotky generuje pulzně šířková modulace s rozlišením do deseti bitů. Protože tento mód je pro naše účely potřebný, bude popsán podrobněji.

Tento mód využívá spolupráci CCP jednoty a časovače 2. Časovač čítá impulzy z krystalu, které ještě před tím prochází přes programovatelnou předděličku. Ta má možnost tuto frekvenci podělit dále čtyřmi nebo šestnácti. Hodnota datového registru časovače spolu s hodnotami na výstupech předděličky, po jednotlivých děleních, je porovnávána s datovým registrem CCP jednotky a dále i s registrem pro délku periody (Period Register; PR).

Když nastane shoda mezi hodnotou časovače a CCP jednotky, je na výstupním pinu změněn stav na hodnotu L. Jestliže nastane shoda mezi hodnotou časovače a hodnotou PR, je časovač vynulován a hodnota na výstupním pinu je změněna na úroveň H. Tudíž hodnota v PR odpovídá délce periody a hodnota v datovém registru CCP jednotky odpovídá délce kladného impulsu na výstupu. Střída výsledné PWM je nastavitelná v rozsahu 0 – 100%.

Při hodinové frekvenci 40MHz (maximální pracovní frekvence procesoru) je možná maximální výstupní frekvence PWM 39,06kHz při desetibitovém rozlišení. Pokud nám dostačuje jen osmibitové rozlišení, může výstupní frekvence PWM dosahovat až 156,25kHz. Pro zabránění nekorektním stavům je hodnota v CCP jednotce přepisována až po vynulování časovače.

Protože se jedná o osmibitový procesor, velikost všech registrů je osm bitů. Desetibitové rozlišovací schopnosti generování PWM je docíleno tím, že se v komparátoru neporovnává jen obsah osmibitového časovače, ale i obsah bitů jeho předděličky.



Obrázek 14: Blokové schéma vytváření PWM^[4]

Sériový port:

Použitý procesor je vybaven modulem USART někdy také označovaným SCI. Ten umožňuje tři typy provozu:

- asynchronní plně duplexní,
- synchronní poloduplexní jako Master,
- synchronní poloduplexní jako Slave.

Poloduplexní synchronní provoz se používá pro komunikaci s připojenými zařízeními, jako jsou AD převodníky, DA převodníky, paměti EEPROM a podobně. Funguje tak, že jeden komunikační vodič slouží jako datový a druhý komunikační vodič slouží pro hodinové impulzy. Který je datový a který hodinový záleží na tom jestli procesor vystupuje jako Master (řídí komunikaci) nebo Slave (naslouchá).

Plně duplexní asynchronní provoz slouží většinou pro komunikaci mezi mikroprocesorem a terminálem, nebo osobním počítačem. Tento typ provozu se používá i v našem případě a to pro komunikaci s osobním počítačem. Duplexní asynchronní provoz funguje následovně:

Komunikace probíhá po dvou vodičích. Jeden slouží pro vysílání informací k jiným zařízením, má označení TXD. Druhý slouží pro příjem dat, je označován RXD. Na obou vodičích probíhá komunikace v binární formě typem NRZ (Not Return to Zero). Klidový stav na vodičích je úroveň H. Komunikace je zahájena tím, že se klidová úroveň na vysílacím vodiči změní na L. Od této chvíle se po přesně stanovených časech vysílají jednotlivé bity. Počet odvysílaných bitů může být libovolný, ale obě strany, vysílací i přijímací, musí vědět kolik bitů se bude vysílat. Po odvysílání tohoto datového slova následuje tzv. stop bit, kdy se vodič nastaví zpět do úrovně H.

Doba pro přenos jednotlivých bitů je definována baud ratem (česky modulační rychlostí). Ten udává kolik změn stavu na přenosovém médiu může nastat za sekundu. Převrácená hodnota baud ratu udává dobu mezi jednotlivými změnami. Přenosová rychlost závisí na kvalitě přenosového média a na rychlosti zpracování signálu.

Procesor PIC 18F452 je vybaven modulem USART a proto se nám práce se sériovým rozhraním značně zjednoduší. Je jen potřeba nastavit způsob komunikace. Ten se nastavuje pomocí konfiguračních registrů a dále přenosovou rychlost. Přenosová rychlost se nastavuje prostřednictvím konfiguračního registru, tzv. baud rate generátoru. Nastavená rychlost ale nemá přesnou rychlost jako standardní rychlosti používané např. u osobních počítačů. To je způsobeno volbou frekvence krystalu. Odchylka od standardní rychlost pak ve není výsledku nikdy moc velká a komunikace probíhá bez problémů. Protože se většinou přenáší pouze osm bitů po sobě, tak nikdy nedojde k rozsynchronizování obou zařízení, které mezi sebou komunikují. Modul USART je vybaven posuvným registrem, který převádí sériový tok dat na paralelní. Výsledné slovo se přepíše do registru TX a při tomto přepisování se vyvolá přerušení. Tímto je komunikace přes sériové rozhraní značně zjednodušena.

4.5. Obvody pro spolupráci s procesorem

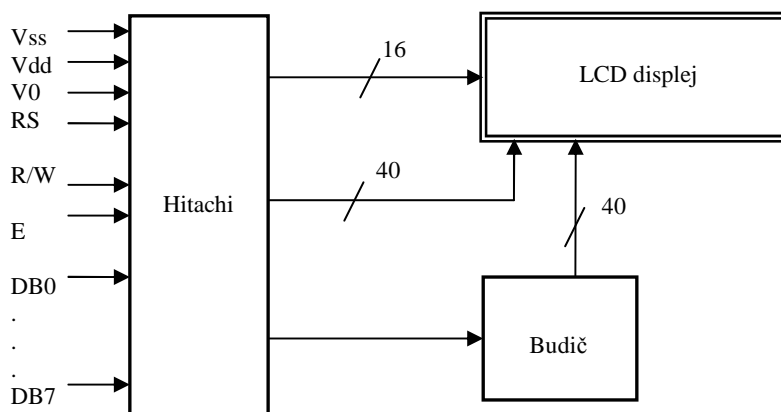
Celá deska s procesorem je dále vybavena následujícími doplňky:

4.5.1. Zobrazovací zařízení

Zobrazování naměřených údajů a informací o probíhajících činnostech mikroprocesorového systému je zajištěno připojením displeje LCD. Pro zjednodušení elektronického zapojení a programu mikroprocesoru je použit displej s řadičem HD44780U firmy Hitachi. Tento řadič v sobě obsahuje paměť ROM, kde jsou uloženy všechny použitelné znaky, které se dají zobrazit. Dále obsahuje dvě paměti RAM. Jedna slouží pro nadefinování vlastních znaků, těch může být maximálně osm. Druhá paměť RAM slouží pro uložení všech znaků, které mají být zobrazeny na displeji. Její kapacita je 80 znaků, proto umožňuje připojení displeje s rozlišením až 4x20 znaků.

Displej použitý pro naše měřicí stanoviště má rozlišení 2x16 znaků, které je dostačující, ale jak se ukázalo při vývoji tohoto stanoviště, vhodnější by bylo použít LCD displej s vyšším počtem znaků. A to hlavně z důvodů zobrazování většího množství údajů najednou. Takto se musí během měření přepínat možnosti zobrazování. Blokové schéma displeje zobrazuje obrázek 15.

Řadič Hitachi zajišťuje komunikaci s mikroprocesorem, generování znaků a jejich uložení v paměti displeje. Displej dále obsahuje samotný LCD panel a budič, který vytváří frekvenci 64Hz pro buzení segmentů LCD panelu.



Obrázek 15: Blokové schéma LCD displeje

Zapojení celého LCD displeje je následující:

- VSS je napájecí zem,
- VDD je zdroj napájecího napětí 5V,
- V0 je řídicí napětí pro LCD,

- RS říká displeji jestli posíláme data nebo instrukci,
- R/W říká displeji jestli chceme zapisovat nebo číst z displeje,
- E slouží k odstartování komunikace,
- DB0 – DB7 jsou datové vodiče.

Displej umožňuje dva typy komunikace:

- osmibitový, kdy komunikace probíhá po všech datových vodičích, které přenášejí celé osmibitové slovo,
- čtyřbitový, kdy komunikace probíhá pouze po datových vodičích DB4 – DB7. Komunikace probíhá tak, že se datové slovo rozdělí na poloviny po 4 bitech, které se na displej vysílají postupně, nejdřív horní 4 bity a následně dolní oddělené hodinovým signálem na vstupu E. Tento mód komunikace displeje slouží k minimalizaci počtu ovládacích vodičů (vývodů procesoru) potřebných pro komunikaci s displejem. Toto je velmi vhodné, pokud nemáme k dispozici procesor, který disponuje velkým počtem vývodů, nebo jsou vývody jednoho portu procesoru sdíleny s jinou periférií jako například sériové rozhraní, analogové vstupy a podobně.

Před odesíláním vlastních dat na displej se musí provést jeho konfigurace. Tou se nastaví šířka datového slova (4 nebo 8 bitů), jestli je zobrazování zapnuto, stav kurzoru, posun displeje. Po této konfiguraci se nastaví počáteční pozice displeje, popřípadě se provede vymazání jeho aktuálního obsahu a zapisování znaků na displej už může začít.

4.5.2. Ovládací tlačítka

Pro ovládání celého měřicího systému slouží čtyři tlačítka. Jsou připojena k procesoru tak, že když je tlačítko v klidu, je na jeho výstupu úroveň H a když se tlačítko stiskne je na výstupu úroveň L. Tlačítka jsou přímo připojena na vstupní piny procesoru, nejsou vybaveny obvody proti zákrmitům. Protizákrmitová funkce je doplněna v softwaru.

4.5.3. Interface pro osobní počítač

Komunikace s osobním počítačem je na straně mikroprocesoru řešena pomocí sériového rozhraní USART, jak již bylo zmíněno výše. Protože osobní počítač běžně takovým rozhraním s potřebnou kompatibilitou nedisponuje, je potřeba mikroprocesor doplnit vhodným převodníkem. Jako první možnost může být použit převodník MAX 232, který funguje na principu nábojové pumpy a přizpůsobuje napěťové úrovně sériového rozhraní mikroprocesoru pracujícího s TTL logikou na napěťovou úroveň počítačového rozhraní RS232. Toto rozhraní pracuje s úrovněmi napětí -12V pro logickou úroveň H a +12V pro úroveň L. Toto řešení už ale ztrácí na využitelnosti, protože mnoho nových osobních počítačů už rozhraní RS232 nemívá v základní výbavě.

Portem, který ale osobní počítače vždy mají a je velmi moderní a všestranně použitelný je USB. Toto rozhraní umožňuje přenosy velkých objemů dat pomocí dvou vodičů. Na straně

mikroprocesoru je kompatibilita s USB zajištěna převodníkem FT232BL. Tento převodník vyrábí firma FTDI. Jedná se o převodník z USB na USART rozhraní. Umožňuje plně duplexní provoz na rychlosti až 1Mbit za sekundu. Převodník je vybaven všemi handshakingovými signály pro komunikaci s modemy. Navíc je vybaven bufferem pro příjem i pro vysílání, takže systém osobního počítače není zatěžován komunikací v reálném čase. Jeho velikost je 384 bytů pro příjem z USB a 128 bytů pro příjem z mikroprocesoru. Obvod dále zajišťuje kompatibilitu s USB 1.1 i USB 2.0 a pomocí připojené paměti typu EEPROM umožňuje funkce jako popis zařízení, identifikaci výrobce a identifikaci zařízení a sériové číslo přes USB rozhraní. To znamená, že po připojení našeho zařízení do osobního počítače přes port USB se zařízení přihlásí námi nastaveným jménem a může poskytovat informace o výrobci a podobně. Pomocí sériového čísla je pak možno v obslužném programu zjistit o jaké zařízení se jedná. Společnost FTDI dodává k čipu ovladače do všech běžně používaných operačních systémů jako je Windows, Linux, MAC OS a dále také příklady kódů do programů jako je Delphi, C++ Builder, Visual C++, Lab View a podobně. Díky tomuto je pak implementace převodníku FT232BL do jakékoliv aplikace již poměrně jednoduchá.

Převodník obsahuje ještě další funkce, které pro nás ale nejsou důležité, a které při komunikaci mezi procesorem a počítačem nejsou použity. Naše zařízení používá na straně mikroprocesoru pouze dva signálové vodiče, RXD přijímací vstup a TXD vysílací výstup. Ostatní signály pro řízení provozu jsou nezapojeny, protože nejsou potřeba. Plynulost provozu je u komunikace mezi mikroprocesorem a převodníkem zajištěna tím, že příjem z USB je obsluhován v podprogramu přerušení, které nastane vždy po přijetí jednoho bytu. Plynulost vysílání je zajištěna bufferem. Jediné další připojené součástky jsou krystal, sériová paměť EEPROM a LED s předřadným rezistorem na signalizaci stavu komunikace. Komunikace přes tento převodník je velmi jednoduchá a umožňuje dvě varianty na straně osobního počítače:

- komunikace pomocí virtuálního portu COM: Při připojení zařízení pomocí USB ovladače vytvoří v systému virtuální sériový port a se zařízením se komunikuje jako by bylo připojeno pomocí sběrnice RS232. Tato možnost umožňuje použití již nainstalovaných programů které komunikují přes sériový port. Je to například Hyperterminál a podobné univerzální programy,

- komunikace pomocí D2XX knihoven: V tomto případě se již neobejdeme bez toho, abychom si museli napsat vlastní obslužný program, který by nám tuto komunikaci zajistil. To ale také není nijak složité díky programové podpoře ze strany výrobce. Tyto knihovny nám dávají větší svobodu v programování a nabízejí další funkce, které by v módu virtuálního sériového portu nebyly možné. Jedná se například o přistupování do připojené EEPROM paměti, nastavování pokročilých parametrů komunikace a podobně.

Převodník FT232BL je zapojený podle zapojení doporučeného výrobcem, které je uvedeno v datasheetu k obvodu. K obvodu je připojena sériová paměť typu EEPROM, jejíž funkce je popsána výše. Protože paměť 93C56 firmy Atmel umožňuje jak 8-mi, tak i 16-ti bitovou komunikaci, je potřeba tuto pevně nastavit pomocí připojení vývodu pro volbu módu na logický signál úrovně H.

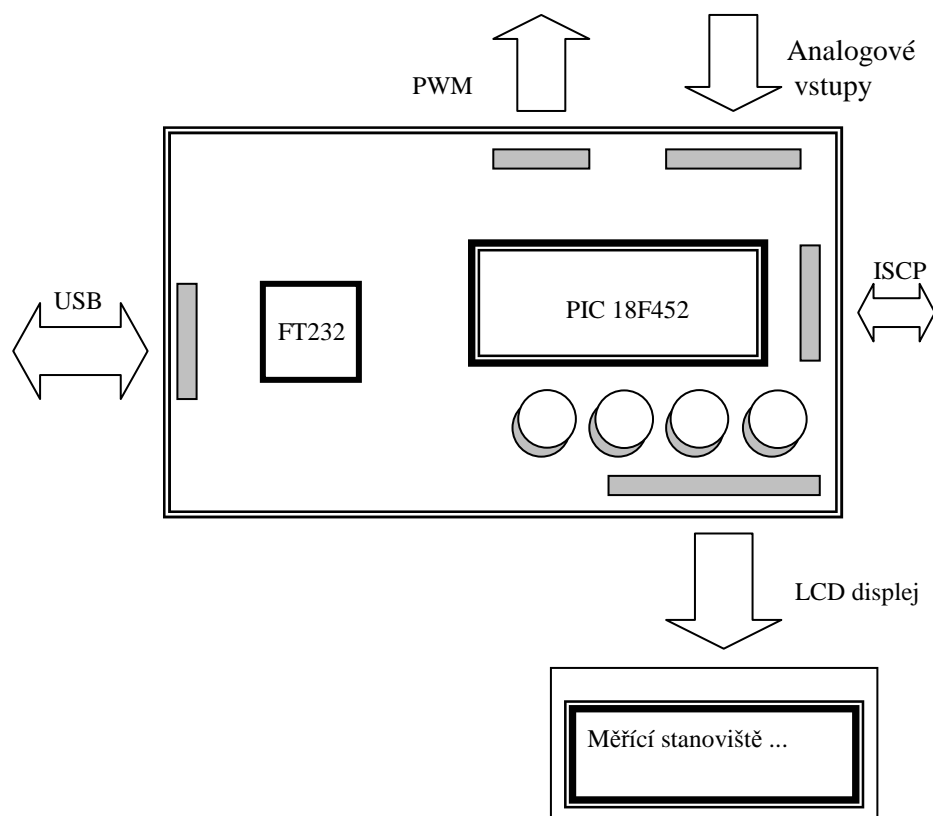
Při testovacím provozu zařízení se vyskytla chyba způsobená obvodem FT232BL. Jednalo se o to, že při odpojení kabelu USB se sběrnice USART na straně mikroprocesoru nevratně zablokovala a hlásila chybu, kterou nebylo možné programově odstranit. Po důkladném prostudování materiálů od výrobce převodníku bylo zjištěno, že obvod FT232BL je po odpojení od USB uveden do stavu spánku a všechny jeho výstupy jsou ve stavu vysoké impedance. Proto přijímač sběrnice USART nemohl korektně vyhodnotit stav vstupu a hlásil chybu. Chyba byla odstraněna připojením pull-up odporu na sériový vstup, který při odpojení vstupu zajistí úroveň H na RX vstupu sériové linky a tím pádem klidový stav.

4.6. Základní deska

Základní deska je zhotovená na jednostranné desce plošných spojů a obsahuje:

- procesor PIC 18F452,
- převodník mezi sběrnicemi USART a USB (FT232BL),
- LCD displej s řadičem HITACHI,
- čtyři ovládací tlačítka,
- konektor sdružující analogové vstupy,
- konektor sdružující PWM a spínací výstupy,
- konektor pro programování ISCP,
- konektor sběrnice I²C,
- konektor sdružující jinak nevyužité vstupy a výstupy procesoru.

Rozvržení celé desky je znázorněno na obrázku 16. Celá deska má rozměry 140x90mm. Základní deska je schopna pracovat samostatně bez dalších obvodů, potřebuje pouze napájecí napětí 5V.

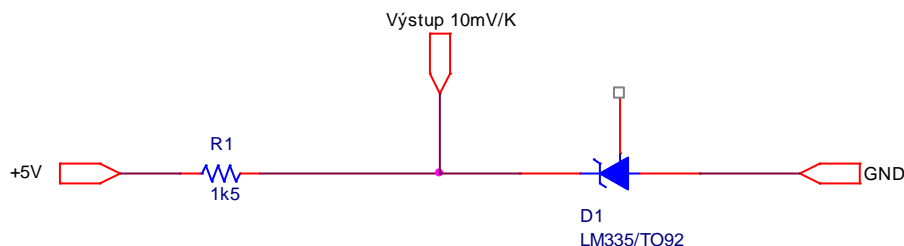


Obrázek 16: Základní deska měřícího stanoviště

4.7. Deska analogových vstupů

Tato deska obsahuje referenční zdroj pro AD převodník, který již byl popsán v kapitole Procesor. Dále má každý analogový kanál předřazen filtr. Ten je tvořen jednoduchou dolní propustí prvního řádu a má zlomovou frekvenci přibližně 7kHz. Dále je ke každému analogovému kanálu připojen paralelní rezistor pro případ, že by vstup zůstal nezapojen. Tímto rezistorem se uzavrou vazby pro vybíjení vnitřních kapacit převodníku. Osazení tohoto rezistoru je odůvodněno testovacím provozem, kdy při nezapojeném analogovém vstupu, po jeho změření převodníkem, se jeho hodnota jevila jako náhodná. Po osazení tohoto rezistoru se při nezapojeném vstupu změřená hodnota blíží nule.

Jeden z analogových vstupů (kanál 0) je primárně určen pro měření teploty pomocí čidla LM335, proto je jeho zapojení odlišné od ostatních kanálů. Toto zapojení ukazuje obrázek 17. Teplotní čidlo LM335 se chová jako paralelní napěťový zdroj, který je závislý na teplotě. Tato teplotná závislost je 10mV/1°C. Obvod je výrobcem nastaven tak, že výsledné napětí odpovídá přímo teplotě v kelvinech (po posunu desetinné čárky). Toto čidlo je schopné pracovat v rozmezí napájecího proudu 0,4 – 5mA s přesností 1°C na 100°C. Teplotní rozsah čidla je -40 – 100°C je vybaveno i vstupem pro seřízení výstupního napětí, ten ale v našem případě není použit.



Obrázek 17: Zapojení teplotního čidla

Čidlo je vyrobeno v pouzdru TO92 a experimentálním měřením bylo zjištěno, že jeho tepelná setrvačnost při umístění do proudu vzduchu bude dostatečně malá na to, aby poskytovalo kvalitní zpětnou vazbu pro nastavování požadované teploty vzduchu.

Deska má ještě další analogový vstup s odlišnou funkcí než ostatní. Je to kanál 7, tento kanál má na vstupu umístěný odporový dělič s poměrem 1:2. Je to tak proto, že tento kanál je určen pro dálkové ovládání množství vzduchu a napěťový rozsah 0 – 10V je jako řídicí napětí mnohem standardnější než rozsah 0 – 5V.

Zdroj referenčního napětí je připojen na analogový kanál 3. Velikost referenčního napětí je 5,115V jak již bylo zmíněno výše. Tato hodnota se musí přesně nastavit při oživování zařízení a občas ji bude potřeba překontrolovat, protože se může v určitých mezích měnit vlivem stárnutí součástek, vlivem prachu a podobně. Nastavení tohoto napětí je důležité z hlediska přesnosti měření AD převodníku.

4.8. Deska výkonových výstupů

Tato deska v sobě sdružuje výkonové výstupy a signalizaci stavu těchto výstupů. Výkonové výstupy jsou používány celkem tři. Jedná se o dva PWM výstupy a jeden výstup spínaný triakem. Ten může spínat síťové napětí a spínaný proud může dosahovat až 16A.

4.8.1. PWM výstupy

Jak již bylo zmíněno, PWM výstupy jsou dva, používá se ale jenom jeden. Druhý PWM výstup je vyveden jako rezerva pro případné změny použití celého zařízení.

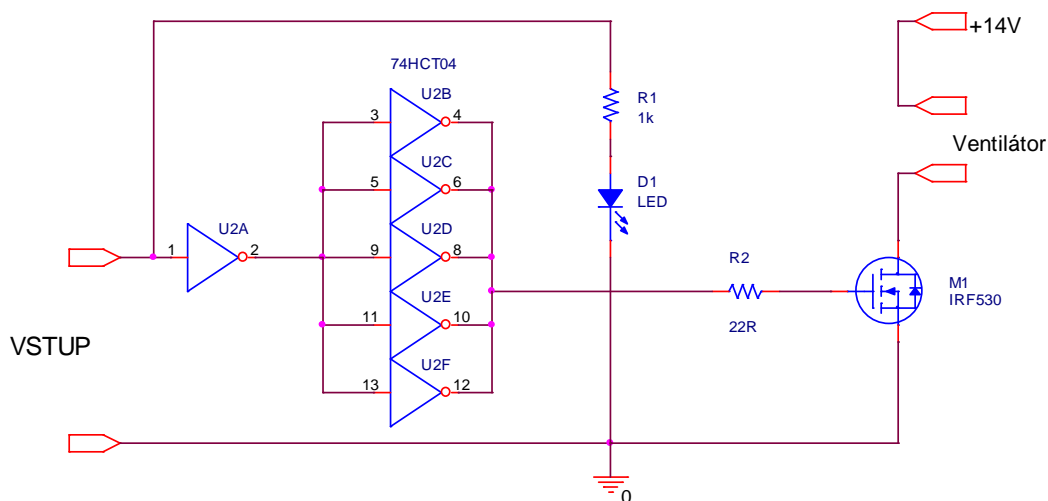
Jako výkonové spínače jsou použity unipolární tranzistory IRF530 typu N-MOS. Tyto tranzistory umožňují spínání napětí až do 100V a maximální spínaný proud může být až 16A při maximální výkonové ztrátě 90W.

PWM výstupem se napájí ventilátor, který zajišťuje regulovatelný průtok vzduchu měřiči hmotnosti vzduchu. Tento ventilátor má výkon 19,2W při napájení 12V. Špičkový proud odebíraný ventilátorem je při rozběhu přibližně 4A. Z tohoto hlediska se může zdát PWM

výstup značně předimenzovaný, ale je zde opět myšleno na případné odlišné využití než jen ovládání ventilátoru.

Každý ze dvou výstupních tranzistorů má předřazen jednoduchý budič složený z logických obvodů 74HCT04. Jedná se o šestinásobný invertor, kdy pět jich je zapojeno paralelně, aby mohli dodávat dostatečný budící proud pro buzení řídící elektrody výkonového tranzistoru. Jedno hradlo je zapojeno na jejich vstupu, aby spínání nebylo invertováno. Gate výkonového tranzistoru je připojen k budiči přes rezistor 22Ω z důvodu omezení strmosti spínání tranzistoru. Hodnota 22Ω je doporučena výrobcem tranzistoru.

Jako signalizace činnosti PWM výstupů je použita LED dioda připojená přes rezistor $2k\Omega$ přímo na výstup procesoru. Její proud je omezen na přibližně $1,5mA$, aby zbytečně nezatěžovala procesor a navíc s tímto rezistorem svit diody lépe kopíruje střidu pulzně šířkové modulace. Zapojení PWM výstupů je zobrazena na obrázku 18.

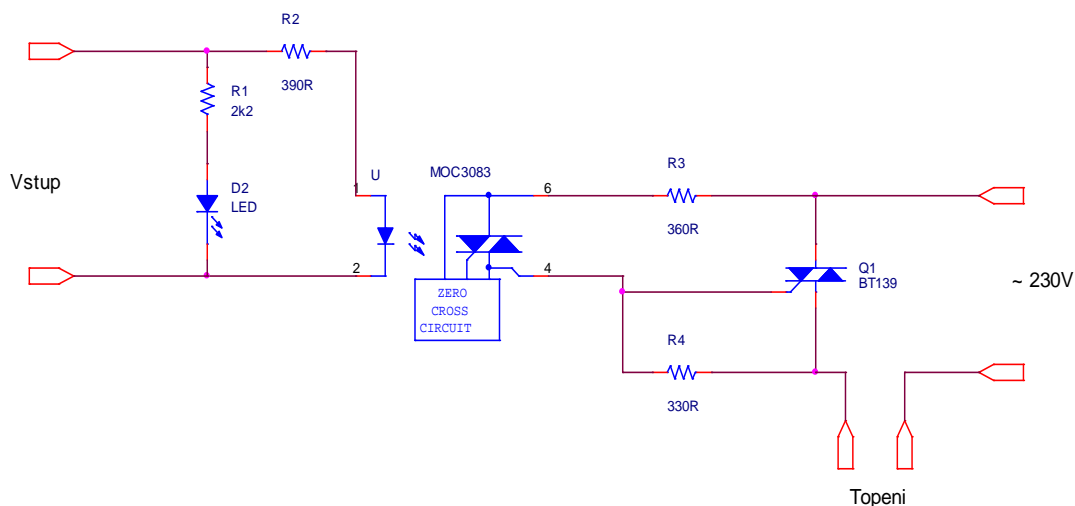


Obrázek 18: Zapojení PWM výstupů

4.8.2. Výstup 230V pro topení

Pro regulaci teploty vzduchu je použito topení vyrobené z odporového drátu. Výkon tohoto topení by měl být alespoň $1200W$, aby mohlo zvyšovat teplotu vzduchu v dost velkém rozsahu. Takto velký výkon se již nedá provozovat na malých napětích jako je $12V$ a proto musí být topení napájeno ze síťového napětí. Pro řízení velikosti tohoto napětí se naskytují dvě možnosti. Jako první pulzně šířková modulace. Ta by pro zajištění kvalitní funkce vyžadovala na vstupu stejnosměrné napětí, proto by se musel na vstup zapojit usměrňovač a kondenzátorová baterie. Toto zapojení by ale bylo zbytečně složité a nákladné, proto je použita druhá možnost. Ta spočívá v tom, že se napětí pro topení spíná pomocí triaku. Jako budič triaku je použit obvod MOC3083. Jedná se o optotriak s funkcí spínání v nule. Ten nám zajistí spínání vždy při nízké hodnotě napětí a tím pádem i proud při spínání je malý. Tím se minimalizuje spínací rušení. Obvod MOC3083 je na vstupu vybaven LED diodou, která nám zároveň zajistí i galvanické oddělení řídící části od síťového napětí. Spínání probíhá tak, že se na vstup obvodu MOC3083 přivede impulz o délce $10ms$, který nám zajistí sepnutí právě jedné půlvlny síťového napětí. To

je docíleno tím, že obvod spíná v nule a za dobu 10ms může nastat vždy jen jeden průchod nulou. Rozšiřováním doby impulzu vždy o 10ms se zvyšuje počet půlvln síťového signálu, které jsou připojeny na zátěž. Tímto se řídí střední hodnota napětí a proudu na topení a tím i jeho teplota při jeho dostatečně velké teplotní setrvačnosti. Celý obvod je opět doplněn signalizací stavu sepnutí. Vstup obvodu je udělán tak, aby aktivní úroveň byla úroveň L vstupního signálu. To je proto, že zvolený výstup procesoru je zapojen jako výstup s otevřeným kolektorem a proto může přenášet proud jen proti zemi. Zapojení spínače síťového napětí je znázorněno na následujícím obrázku.



Obrázek 19 :Spínání topení

4.9. Programátor pro procesor

Pro potřeby naprogramování použitého procesoru PIC18F452 byl vyroben, jako příslušenství k celému zařízení, programátor.

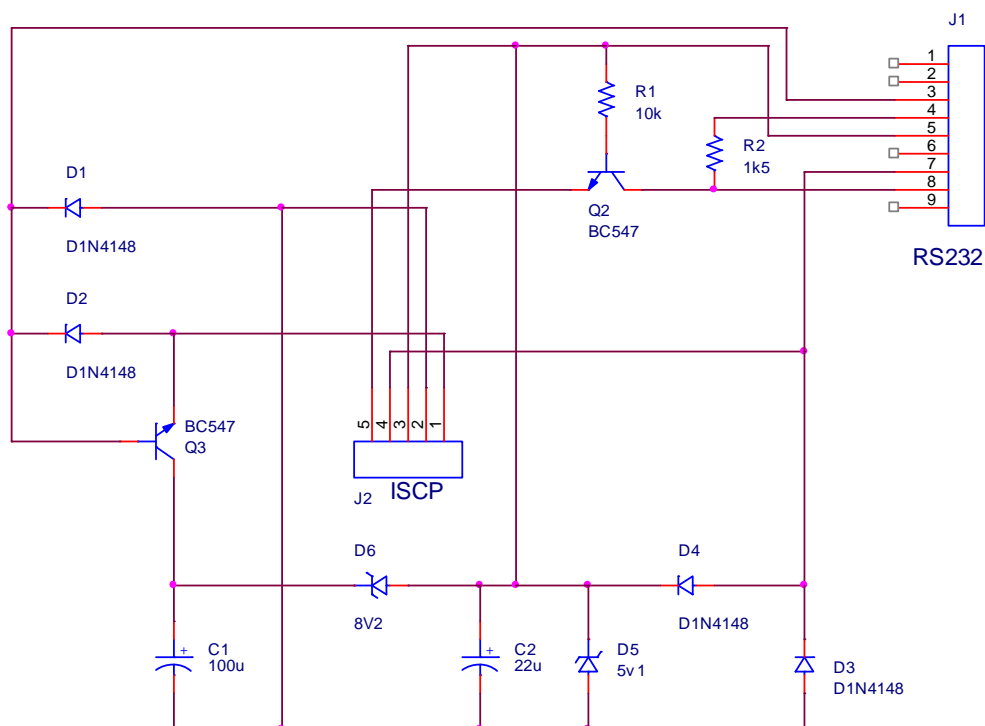
Jedná se o velice jednoduchý a levný programátor, který se k osobnímu počítači připojuje přes sériový port RS232. Pro svou funkci nepotřebuje ani napájecí zdroj, je totiž napájen přímo ze sériového portu. K procesoru se připojuje pomocí konektoru pro sériové programování v aplikaci (ICSP). Tento konektor v sobě sjednocuje:

- napájecí napětí pro procesor,
- datový vodič pro programování,
- hodinový vodič pro programování,
- programovací napětí 12,5V.

Celkem je tedy programátor s procesorem připojen pěti vodiči. Protože vývody procesoru pro programování jsou sdíleny s piny vstupně/výstupního portu, je potřeba provést oddělení

připojených obvodů z důvodu toho, aby nezatěžovali programátor při jeho připojení během programování. Toho je docíleno tím, že mezi vývody procesoru a vývody připojených obvodů jsou vřazeny rezistory o hodnotě 390Ω .

Pro programování procesoru na základní desce je nutné vytáhnout zkratovací propojku J1, která propojuje napájení procesoru s napájením ostatních obvodů. Toto se dělá kvůli odpojení ostatních obvodů od zdroje napětí, který programátor obsahuje. Tím je zamezeno nadměrnému proudovému odběru z programátoru a také se tím zamezí nežádoucím interakcím mezi procesorem a ostatními obvody. Oba tyto stavy by mohli ovlivnit průběh programování a proto je nutné jim předcházet. Protože programátor používá zemní vodič počítačového napájecího napětí jako kladné napájecí napětí programovaného procesoru, nesmí být procesor při programování nijak jinak vodivě spojen s počítačem, například USB kabelem. Mohlo by dojít ke zničení programátoru nebo procesoru. Schéma programátoru je uvedeno na obrázku 20.



Obrázek 20: Programátor – schéma

Aby bylo možné provádět programování tímto programátorem, je nutné nastavit procesor pro programování pomocí standardního napětí. Procesor PIC18F452 totiž umožňuje také programování nízkým napětím označované LVP. Toto nastavení se provádí pomocí pinu PGM procesoru. Pro aktivaci programování napětím 12,5V je potřeba spojit tento vývod se zemí. Pro nízkonapěťové programování je nutno tento vývod spojit s kladným napájecím napětím.

Při používání nízkonapěťového programování musí být vývod PGM během provádění programu vždy spojen se zemí, aby se nemohlo stát, že procesor náhodou přejde do programovacího režimu. Proto tento vývod nemůže být dostupný pro obecné použití během provádění programu. Toto je hlavní důvod, proč je pro procesor použito programování standardním napětím 12,5V a ne LVP.

Tento typ programátoru je podporován volně šiřitelným programem IC – Prog, se kterým umožňuje běžné funkce jako je čtení, zápis a mazání. Přestože je programátor připojen k sériovému portu počítače, je programování s ním dostatečně rychlé. Ovládání programu je velice jednoduché a podporuje velkou řadu obvodů, které je s ním možno naprogramovat.

5. Programové vybavení

5.1. Programování PIC18F452

Procesor PIC je naprogramován v prostředí MPLAB 8.0, které je poskytováno firmou Microchip zdarma. Jako programovací jazyk je zvoleno C. Prostředí MPLAB je vybaveno podporou jazyka C pomocí kompilátoru Hi-Tech. Ten je volně k dispozici ve dvou variantách a to jako Lite verze s omezenou velikostí výstupního souboru a nebo jako zkušební plná verze s dobou používání 30dní. Procesor byl naprogramován ve zkušební verzi.

Spolu s Hi-Tech kompilátorem jsou dodávány i knihovny pro obsluhu LCD displeje, sériovou linku, zpoždění a podobně. Tyto knihovny jsou ale navrženy pro zkušební modul firmy Microchip a pro běžné používání je potřeba jejich obsah upravit podle používaného zapojení. Slouží ale jako solidní základ pro vytvářené programy.

5.2. PIC18F452 popis programu

Program je poměrně jednoduchý a používá pouze dva typy přerušení. A to od sériové linky a od časovače. Přerušení od časovače je použito pro získávání přesného času 10ms pro spínání triaku. Triak je opatřen budícím obvodem pro spínání „v nule“, proto je potřeba na jeho řídicím vstupu vygenerovat spínací pulz, který bude trvat přesně jednu půlperiodu síťového kmitočtu, aby se docílilo sepnutí právě jedné půlplny na zátěž a regulace byla korektní. Přerušení od sériové linky je použito z důvodu připojení USB převodníku. Ten je typu USB<-> USART a komunikace probíhá na žádost ze strany USB. Proto by se musela provádět cyklická kontrola příchozích dat, a ta by zbytečně zatěžovala procesor.

Na začátku programu je potřeba implementovat používané knihovny do programu. Jedná se o knihovny pro LCD displej, zpoždění a knihovnu standardních vstupů a výstupů, která definuje standardní funkce jazyka C pro procesory PIC.

Za implementací knihoven je vloženo konfigurační slovo procesoru, skládá se ze sedmi částí a slouží k základní konfiguraci procesoru. V tomto případě je konfigurace následující:

- **konfigurační slovo 1:** Nastavení oscilátoru jako HS-PLL – vysoká rychlost PLL násobením kmitočtu krystalu x4,

- **konfigurační slovo 2:** Power up timer zapnut – Procesor je po zapnutí 75ms v resetu. Je to kvůli ustálení všech napětí a signálů; Brown out detekce vypnutá – Jedná se o detekci poklesu napájecího napětí. Když poklesne pod zvolenou úroveň vyvolá se reset; Watch dog timer vypnut – když procesor neodpovídá vyvolá se reset,

- **konfigurační slovo 3:** Capture/Compare výstup 2 připojen na vývod RC1,

- **konfigurační slovo 4:** Reset při přetečení zásobníku vypnut; Programování nízkým napětím vypnuto,
- **konfigurační slovo 5 – 7:** všechny ochrany kódu vypnuty.

Dále následuje deklarace globálních proměnných pro překladač. V tomto případě jsou to všechny proměnné používané v programu kromě proměnných používaných přímo v použitých knihovnách. Je to tak vhodnější hlavně z důvodu možnosti přístupu k těmto proměnným i z přerušení. U proměnných, které to potřebují zde je definována i jejich výchozí hodnota.

Část kódu následující po deklaraci proměnných obsahuje funkce a podprogramy, které se v hlavním programu používají. Jedná se o:

- inicializace periférií jako jsou časovače, Capture/Compare jednotky, sériová linka,
- speciální čekací smyčky, které nejsou definované v knihovně,
- podprogram pro posílání znaků na sériovou linku,
- podprogramy pro měření na jednotlivých kanálech AD převodníku,
- podprogram na přepočet napětí na váhu vzduchu.

Inicializace časovače:

Použitý časovač 0 se nastavuje pomocí konfiguračního registru T0CON. Může být nastaven buď jako osmibitový a nebo jako 16 bitový. Jako zdroj impulzů může být použita frekvence krystalu /4 nebo vnější signál přivedený na vstup T0CKI, pro který lze nastavit, na kterou hranu (vzestupnou/sestupnou) má čítač reagovat. Časovač má předřazenou předděličku, která umožňuje nastavit dělicí poměr 1:2 až 1:256. Aktuální nastavení časovače vypadá následovně:

- mód osmibitový,
- zdroj impulzů oscilátor,
- dělička 1:64.

Pro toto nastavení nastane přerušení každých 1,64ms.

Inicializace Capture/Compare jednotky:

Každá ze dvou těchto jednotek umožňuje, jak již bylo zmíněno výše, tři režimy. Pro správnou funkci režimu PWM je nutné nastavit registr CCP1CON do režimu PWM a pro správné časování period registr PR2 a časovač Timer 2.

Pro nastavení požadované frekvence spínání 39,06kHz je nastavení následující:

- Časovač Timer 2: Je to osmibitový časovač řízený frekvencí oscilátoru, dělička nastavena na 1:1,
- Period registr PR2: hodnota FFh pro maximální periodu. Při shodě s hodnotou časovače ho vynuluje.

Inicializace sériového portu:

Protože procesor používá univerzální sériovou jednotku, která umožňuje více režimů, je potřeba nastavit požadované chování modulu. Toto se nastavuje v konfiguračních registrech TXSTA pro vysílání a RCSTA pro příjem.

Modul je nastaven pro asynchronní komunikaci s osmibitovou šířkou slova. Dále je pro správnou funkci potřeba nastavit přenosovou rychlost. To se provádí pomocí datového registru SPBGR. Hodnota 7 odpovídá přenosové rychlosti 76800 baudů pro frekvenci oscilátoru 40MHz.

Čekací smyčky:

Čekací smyčky jsou doplněny pro speciální účely použití v programu. Jsou přidány celkem dvě speciální čekací smyčky. Jedna čeká přibližně 2 μ s a jedná se o čekání na ustálení hodnoty na sample/hold obvodu AD převodníku po přepnutí kanálu. Čas udávaný výrobcem je 1,6 μ s, ale raději byl zvolen čas mírně delší.

Druhá speciální čekací smyčka je poměrně delší, přibližně 100ms, a jedná se o čekání po výpisu na LCD displej. Tato smyčka je vytvořena jako funkce, jejímž parametrem je číslo od 1 do 255, které udává násobek základního času 100ms. Proto je rozsah čekání od 100ms do 25s.

Podprogram pro posílání znaků po sériové lince:

Podprogram má za úkol zjistit, jestli na sériové lince zrovna neprobíhá žádná komunikace a proměnnou uloženou v parametru funkce předá na sériový port. Tato funkce je důležitá pro navazující funkci pro posílání celých řetězců znaků.

Podprogramy pro měření na AD kanálech:

Jedná se o celkem 7 podprogramů, které jsou obsahem téměř totožné, liší se pouze adresou kanálu, na kterém se bude měřit.

Po nastavení adresy kanálu se počká na ustálení hodnoty a zahájí se převod pomocí nastavení konfiguračního bitu. Program čeká v nekonečné smyčce, dokud se měření neprovede. Po ukončení měření je naměřená hodnota uložena v registru převodníku a podprogram se ukončí.

Přepočet napětí na váhu vzduchu:

Protože napětí na snímači hmotnosti vzduchu přímo neodpovídá hmotnosti vzduchu, je potřeba provést jeho přepočet. A protože převodní charakteristika toho snímače není lineární, nelze tento výpočet v mikroprocesoru jednoduše provést. Proto jsem převodní charakteristiku provedl jako po částech lineární funkci, kde její dílčí části byly vypočteny v programu MS Excel a poté rovnice těchto lineárních částí byly implementovány do mikropočítače.

Celý přepočet je realizován na dvě části. V první části se určí úsek nelineární křivky, ve které se právě aktuální změřená hodnota nachází. Toto se provádí celočíselným podílem naměřené hodnoty a čísla 20, tím se měřicí rozsah rozdělí na 51 úseků. Výsledek dělení se zpracovává funkcí „case“, která pro každou z 51 možností vypočítává jinou převodní rovnici. Tímto je proveden převod nelineární závislosti napětí na hmotnosti vzduchu. Celá převodní charakteristika je uvedena v přílohách.

Hlavní program:

Hlavní program běží v nekonečné smyčce a používá funkce větvení. Předchází mu ještě nastavení periférií buď pomocí už popsanych inicializačních rutin, nebo individuální nastavení přímo v hlavní smyčce programu. Mimo již popsanych nastavení je potřeba provést nastavení směru portů (vstupní/výstupní), nastavení povolení přerušení a inicializace hodnot proměnných a hodnot registrů důležitých pro funkci zařízení.

V hlavní smyčce se provádí čtení výstupů z tlačítek, zobrazování na LCD displeji, měření analogových hodnot a regulace. Jeden průchod touto smyčkou trvá přibližně 5ms, ale jeho doba je proměnná a závisí na aktuálně prováděné činnosti. Smyčka obsahuje počítadlo průchodů, které je použito pro:

- **změnu údajů na LCD displeji:** Údaje na displeji se musí měnit pouze párkrát za sekundu, protože by se při rychlejší změně nedal displej přečíst z důvodu rychle se měnících hodnot a také z důvodů jeho setrvačnosti. Proto je změna údajů displeje prováděna pouze

pětkrát za sekundu. Tato hodnota byla určena experimentálně. Rychlejší změny již způsobovaly problémy při čtení z displeje a naopak pomalejší obnovování dat způsobovalo neaktuálnost právě zobrazovaných dat,

– **regulaci napětí na ventilátoru:** Pro velkou setrvačnost ventilátoru je potřeba pro jeho regulaci velké časové konstanty. Regulace se proto provádí v intervalu 0,4s. Regulátor funguje tak, že každých 400ms změří hodnotu hmotnosti vzduchu a porovná ji s požadovanou hodnotou. Jestliže je změřená hodnota menší, zvýší střídu PWM, jestliže je menší, střídu sníží. Tato regulace je použita, když naměřená hodnota hmotnosti vzduchu je jen méně odlišná od požadované. Jestliže se obě hodnoty liší více, tak je použita obdobná struktura, ale s větším krokem pro nastavení střídy PWM. Jelikož se ventilátor nezačíná točit ihned od nízkých hodnot střídy PWM, je do regulační struktury ještě vřazeno předpětí, které se aplikuje vždy, když je požadavek na zvýšení otáček ventilátoru. Hodnoty všech konstant pro regulaci hmotnosti vzduchu byly určeny experimentálně.

Větvení hlavního programu:

Větvení programu probíhá ve dvou rovinách.

- Větvení pro nastavovací funkce

Toto větvení je řízeno tlačítkem pro změnu nastavení (modré) a má pouze dvě možnosti. Jedna možnost je nastavování požadované hodnoty teploty vzduchu, kdy se tlačítkům pro změnu nahoru a dolů přiřadí funkce nastavování teploty. Po každém stisku jednoho z tlačítek změny hodnoty se aktuální změněná hodnota zobrazí na displeji. Druhou možností je nastavování požadované hmotnosti vzduchu. Tlačítkům pro nastavování hodnoty se přiřadí funkce nastavování požadované hmotnosti vzduchu. Po stisku tlačítka změny nastavení se přechází pouze mezi těmito stavy.

- Větvení pro zobrazování a měření

Větvení pro zobrazování je již mírně obsáhlejší. Má celkem čtyři základní možnosti plus jednu skrytou. Mezi základní možnosti patří zobrazování teploty vzduchu; měření na referenčním měřiči hmotnosti vzduchu, kdy je zobrazováno jeho napětí a hmotnost vzduchu; měření na měřeném senzoru 1, kdy se zobrazuje jeho výstupní napětí a hmotnost vzduchu je počítána z referenčního měřiče; měření na senzoru 2. Mezi těmito možnostmi se přechází kombinací tlačítek: černá + červená → posun v menu směrem nahoru; černá + žlutá → posun v menu směrem dolů.

Skrytá možnost obsahuje volbu dálkového ovládání pomocí analogového napětí přivedeného na vstup pro dálkové ovládání. Při tomto stavu se udržuje nastavená teplota, ale množství vzduchu je nastavováno pomocí analogového napětí v rozsahu 0 – 10V. Tato možnost se aktivuje stiskem modrého a černého tlačítka současně.

Přerušení od časovače:

Přerušení od časovače 0 zajišťuje generování času 10ms pro regulaci teploty a spínacích pulzů pro řízení triaku. V přerušení se taky měří teplota pro regulaci. Podmínkou pro sepnutí je, že požadovaná teplota musí být větší než aktuální a zároveň se musí točit ventilátor (hodnota z referenčního snímače musí být větší než 1,2V). Poté se může zapnout topení.

Přerušení od sériové linky:

Toto přerušení obstarává komunikaci mezi stanovištěm a počítačem. Komunikace probíhá na základě příkazů posílaných z počítače. Zatím je celkem osm možných příkazů. Jsou to :

- zahájení ovládání : Tímto příkazem se přebere ovládání nad stanovištěm a neberou se v potaz ovládací příkazy zadávané tlačítky na stanovišti. Tímto se také zahájí automatické posílání naměřených hodnot ze stanoviště do počítače,
- vynulování řídicího registru PWM : Nastaví minimální hodnotu střidy PWM,
- zvýšení střidy PWM : Nastaví střidu PWM o krok větší než předchozího,
- snížení střidy PWM : Nastaví střidu PWM o krok menší než předchozího,
- vynulování teploty : Nastaví nulovou požadovanou teplotu,
- zvýšení požadované teploty : Nastaví požadovanou teplotu o 1 stupeň větší než byla předchozí,
- snížení požadované teploty : Nastaví požadovanou teplotu o 1 stupeň menší než byla předchozí,
- konec ovládání : Ukončí režim dálkového ovládání pomocí USB a stanoviště přejde opět do funkce běžného ovládání přímo na měřícím stanovišti.

5.3. Popis programu PC

Program pro osobní počítač souží jako doplněk k měřicímu stanovišti. To je i bez připojení počítače plně funkční, avšak připojení počítače zvyšuje komfort ovládání a přidává funkce, které by samotné měřící stanoviště plnilo jen obtížně.

Mezi základní funkce programu patří navázání komunikace s měřícím stanovištěm, ovládání měření, získávání údajů z laboratorního stanoviště a vykreslování grafů.

Pro potřeby komunikace s měřícím stanovištěm je zařízení vybaveno převodníkem USART <=> USB s označením FT232BL. K tomuto obvodu jsou k dispozici ovladače pro operační

systémy Windows, Linux a MacOS. Spolu s těmito ovladači, které zajišťují, aby zařízení bylo rozpoznáno systémem, a ten s ním uměl komunikovat, výrobce dodává ještě speciální knihovny do programů jako je Delphi, Borland Builder, Visual studio, LabView a podobně. Tyto knihovny zajišťují plnou podporu všech funkcí, které převodník umí. Implementací těchto knihoven do programu se jednoduše zajistí kompatibilita mezi převodníkem a námi psanou aplikací.

Pro jednoduché programování je použit program LabView, jelikož u něj není nutná dokonalá znalost programovacích jazyků. Lze s ním jednoduše a rychle vytvořit aplikaci, která i po vizuální stránce vypadá poměrně dobře.

Základem programu je připojení měřicího stanoviště vybaveného USB převodníkem k aplikaci. Toho je docíleno funkcí `Open_Device_By_Description`, která připojí zařízení. Abychom si nemuseli pamatovat název zařízení, které chceme připojovat, je ještě před touto funkcí použita jiná funkce. Ta zjistí název připojeného zařízení a pro kontrolu ho zobrazí na čelním panelu aplikace. Poté tento název předá funkci pro otevření a zařízení připojí. Nevýhoda toho je v tom, že se otevírá vždy zařízení na pozici nula. Proto pro korektní funkci programu nesmí být k počítači připojeno více USB zařízení vybavených převodníkem FT. Tento předpoklad je splněn ve většině případů a proto není potřeba program vybavovat volbou výběru pro připojení zařízení. Po úspěšném připojení zařízení k programu se provede reset převodníku FT.

Dále, protože se jedná o převodník na asynchronní sériové rozhraní, se musí nastavit parametry sériové komunikace. Tyto parametry se nastavují pomocí třech funkcí, kdy funkce `Set_Baud_Rate` nastavuje požadovanou přenosovou rychlost, v našem případě je to 76800 baudů, funkce `Set_Data_Characteristics` nastavuje délku datového slova počet stop bitů a paritní bit. Poslední nastavovací funkce – `Set_Flow_Control`, nastavuje způsob jak bude řízen tok dat. Po nastavení komunikace se funkcí `Purge` vymažou vyrovnávací paměti a vše je tak připraveno pro komunikaci.

Pro navázání komunikace s měřicím stanovištěm je mu poslán příkaz ve formě jednoho bytu. Měřicí stanoviště se přepne do režimu ovládání přes USB a provádí kontinuální měření na všech kanálech. Naměřené hodnoty posílá pak v intervalu přibližně 200ms zpět přes USB. Od tohoto místa program běží ve stále se opakující smyčce. Program vždy čeká, dokud mu nepřijde 48 bytů dat. Tato hodnota odpovídá poslání všech naměřených hodnot z měřicího stanoviště. Přijatá data jsou ve formě textového řetězce a proto je potřeba je rozdělit na jednotlivé části. Každá jedna část obsahuje popis dat a naměřenou hodnotu. Popis by byl možná i zbytečný, ale slouží hlavně jako kontrola, jestli byla data interpretována správně.

Všechny naměřené hodnoty jsou do počítače posílány naprosto bez jakékoliv úpravy a jedná se o hodnoty na výstupu z AD převodníku v rozsahu 0 až 1023. Tyto hodnoty musí program přepočítat buď na napětí, teplotu, hmotnost vzduchu popřípadě odpor. Je to tak provedeno zejména pro zjednodušení programu v procesoru měřicího stanoviště a taky proto, že všechny údaje posílané přes USB mají stejnou délku. Údaje obdržené z měřicího stanoviště jsou zobrazovány v programu ve formě celého řetězce, který je už rozdělený na jednotlivé části a ve formě ukazatelů, které již zobrazují přepočtenou hodnotu na údaje o teplotě napětí a podobně.

Mezi ovládací prvky v programu patří :

- tlačítka +, -, 0 pro nastavování parametrů PWM a pro řízení otáček ventilátoru. Tlačítko 0 nastavuje střídu PWM na výchozí hodnotu, tlačítka + a – zvětšují nebo zmenšují střídu PWM,
- tlačítka +, - a 0 pro nastavení teploty. Tato tlačítka mají obdobnou funkci jako předchozí s tím rozdílem, že nastavují požadovanou teplotu vzduchu,
- tlačítko poslat. Tímto tlačítkem je vyslán do měřicího stanoviště příkaz zadaný v políčku data k poslání. Tato funkce slouží k rychlému nastavování parametrů PWM a teploty popřípadě pro jiná nastavování stanoviště,
- přepínač automaticky / manuálně slouží k přepnutí požadované funkce programu. V pozici manuálně se program řídí pokyny zadanými pomocí výše popsanych ovládacích prvků. V pozici automaticky se provede automatické měření, které postupně nastavuje celý rozsah otáček ventilátoru a naměřené údaje z měřičů hmotnosti vzduchu vykresluje do grafů. Po dokončení měření se program opět přepne zpět do manuálního ovládání.

Automatické měření probíhá ve smyčce while tak, že při prvním průchodu se nastaví otáčky ventilátoru na maximální hodnotu a pak se při každém dalším průchodu otáčky snižují. Během toho se měří hodnoty napětí na referenčním snímači, z něj se vypočítává hodnota hmotnosti vzduchu a vynáší se na x osu grafu. Dále se měří hodnoty na ostatních připojených snímačích. Jejich hodnoty napětí se vynáší do grafu na y osu. Takto se vykreslí převodní charakteristika měřeného snímače od maximálního množství vzduchu daného plnými otáčkami ventilátoru až do nulových otáček. Mimo tento graf se ještě vykresluje jeden, který ukazuje průběh napětí na referenčním snímači v závislosti na čase. Tento graf je tu spíše jen pro kontrolu, jinak nemá žádný význam. Přepočet napětí na váhu vzduchu probíhá podle převodní charakteristiky získané programem MS Excel, do kterého se zadala převodní tabulka udávaná výrobcem Bosch a program vypočítal předpis pro převod jako polynom šestého řádu.

V režimu manuálního měření jsou funkční všechny ukazatele stejně jako v automatickém režimu, akorát se nevykreslují hodnoty do grafů.

Získávání dat z měřicího stanoviště probíhá celou dobu, co je softwarově připojeno k programu. Toto lze ukončit zasláním příkazu pro ukončení dálkového ovládání počítačem. Spojení se taky automaticky ukončí, jestliže se stisknutím tlačítka konec na panelu aplikace ukončí obslužný program, nebo se na měřicím stanovišti provede nouzové ukončení stisknutím modrého a černého tlačítka současně.

6. Obsluha měřicího stanoviště

Měřicí stanoviště se skládá z elektronického obvodu pro měření a řízení a dále z mechanických součástí, které mají za úkol spojení měřičů hmotnosti vzduchu se zdrojem tepla a zdrojem vzduchu. Mezi základní součásti patří ventilátor, referenční měřič hmotnosti vzduchu a topení. Do tohoto řetězce se dále přidávají další měřiče hmotnosti vzduchu, na kterých se provádí měření.

6.1. Obsluha elektronické části

Elektronický obvod se skládá z displeje a čtyř tlačítek. Displej zobrazuje informace o měření jako jsou napětí na měřících hmotnosti vzduchu, aktuální hmotnost vzduchu a jeho teplotu. Dále také zobrazuje informace o právě nastavených hodnotách pro regulaci množství vzduchu a teploty. Celé měření je ovládáno pomocí čtyř tlačítek, jejich význam je závislý na zvolené funkci. Základní funkce tlačítek jsou následující:

- žluté tlačítko: nastavování hodnoty směrem dolů,
- červené tlačítko: nastavování hodnoty směrem nahoru,
- modré tlačítko: přepínání funkcí pro nastavování (teplota, průtok),
- černé tlačítko: přepínání funkcí zobrazování na displeji.

Po stisku černého tlačítka se na displeji mění zobrazované údaje. Zatím jsou celkem čtyři možné zobrazované údaje. Jedná se o hodnoty napětí a hmotnosti vzduchu na referenčním čidle; napětí a hmotnost vzduchu na prvním měřeném čidle; napětí a hmotnost na druhém měřeném čidle; aktuální teplota vzduchu.

Stiskem modrého tlačítka pro změnu nastavení je možné nastavovat požadované množství vzduchu, nebo požadovanou teplotu vzduchu. Po stisku tlačítka se aktuální funkce zobrazí na displeji.

Stiskem červeného nebo žlutého tlačítka se nastavuje požadovaná hodnota teploty nebo množství vzduchu podle aktuální nastavené funkce.

Elektronický obvod měřicího stanoviště pro svou funkci potřebuje dvě napájecí napětí. Jedno je stejnosměrné napětí o velikosti 14-20V pro napájení elektroniky a ventilátoru. Druhé napájecí napětí je střídavé o velikosti 230V pro napájení výkonové části pro ohřev vzduchu. Nezapojení napětí 230V nemá vliv na ostatní funkci zařízení, jen nebude k dispozici funkce nastavení požadované teploty vzduchu.

6.2. Obsluha ostatních součástí stanoviště

Mezi další součásti tvořící měřicí stanoviště patří:

- referenční měřič: Zajišťuje regulaci množství vzduchu pro měření, pro funkci celého zařízení je nezbytný.,
- ventilátor: Zajišťuje průtok vzduchu přes měřiče hmotnosti vzduchu. Je nezbytný pro měření vlastností snímačů hmotnosti vzduchu,
- topení: Zajišťuje dosažení požadované teploty vzduchu pro měření vlastností snímačů hmotnosti vzduchu.

Všechny tyto součásti se připojují k elektronickému obvodu pomocí příslušných kabelů a jsou důležité pro funkci měření. Na těchto součástech není potřeba nic nastavovat.

Aby měření probíhalo správně je potřeba měřiče hmotnosti vzduchu připojit správným směrem. Některé měřiče hmotnosti vzduchu jsou schopny rozlišit i směr proudění, a proto je na nich možnost měřit převodní charakteristiku proudění vpřed i charakteristiku zpětného proudění. U snímačů, které nerozlišují směr proudění by se mohlo i při opačném směru proudění jevit že je snímač připojen správně, ale došlo by k chybnému změření převodní charakteristiky.

7. Laboratorní úloha

Celé zadání a ukázkové vypracování laboratorní úlohy je uvedeno v přílohách. Laboratorní úloha má za úkol seznámit studenty s principem činnosti nejpoužívanějších měřičů hmotnosti vzduchu pracujících na termickém principu. Cílem úlohy je změřit převodní charakteristiku měřiče hmotnosti vzduchu a ověřit jestli je tato převodní charakteristika nezávislá na změnách teploty. Celé měření se provádí pomocí laboratorního stanoviště pro měření vlastností snímačů hmotnosti vzduchu bez použití PC a jeho programu. Vzorové vypracování laboratorní úlohy má zároveň sloužit jako důkaz funkčnosti celého navrženého zařízení.

8. Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout laboratorní stanoviště pro měření vlastností snímačů hmotnosti vzduchu a ověřit jeho funkčnost. Navržené zařízení používá pro regulaci množství protékajícího vzduchu kvalitní referenční měřič hmotnosti firmy Bosch, u kterého se předpokládá nezávislost na teplotě. Teplota vzduchu se neměří termistorem ve snímači, ale teplotním čidlem LM335, které má lineární teplotní charakteristiku a přesnost 1°C udávanou výrobcem. Zařízení je schopno docílit libovolně nastavené hmotnosti a teploty vzduchu protékajícího přes referenční měřič hmotnosti. Testovaný snímač hmotnosti vzduchu se připojuje mezi referenční měřič a ventilátor, který nasává přes měřiče vzduch ohříváný topením. Tímto jsou zajištěny pro oba měřiče stejné podmínky a proto lze se znalostí převodní charakteristiky referenčního měřiče proměřit převodní charakteristiku testovaného měřiče a určit, jestli odpovídá předpokladům, nebo jestli je chybná. Zařízení umožňuje nastavit množství vzduchu protékající přes snímače přibližně ve 160-ti krocích pro celý rozsah referenčního měřiče. Tento rozsah je ale omezen použitým ventilátorem, který není schopen dosáhnout maximálního požadovaného množství vzduchu, které je pro použitý referenční snímač přibližně 500kg vzduchu za hodinu.

Zařízení používá pro měření 10ti bitový AD převodník. Ten je implementovaný přímo v procesoru PIC, který je pro řízení stanoviště použit. Výběr procesoru pro toto zařízení se jeví jako velmi vhodný z hlediska poměru cena / výkon. Pro zařízení by bylo ale vhodnější použít raději čtyřřádkový LCD displej na místo dvouřádkového, kterým zařízení disponuje. Při provozu bylo zjištěno, že by bylo vhodnější zobrazit všechny potřebné údaje na displeji najednou. Přepínání mezi nimi mírně komplikuje měření.

Zařízení je pro měření převodních charakteristik plně samostatné, nepotřebuje při měření žádné další měřicí přístroje. Umí měřit napětí, hmotnost vzduchu i teplotu a všechny tyto veličiny může zobrazit na LCD displeji. Pro další vývoj se ještě plánuje zařízení doplnit o funkci měření odporu, aby bylo také schopno změřit převodní charakteristiky termistorů obsažených ve snímačích hmotnosti vzduchu. Měření těchto charakteristik zatím nebylo požadováno, ale měřicí zařízení jej bude schopno provádět po drobném doplnění v elektronickém obvodu a samozřejmě i v softwaru.

Měřicí stanoviště je dále doplněno o možnost komunikace s osobním počítačem. Tato funkce také nebyla původně požadována, ale z hlediska využitelnosti zařízení se jevila jako velmi vhodná a prospěšná, a proto byla přidána hned ve vývoji a nyní je plně funkční. Komunikace s počítačem umožňuje větší komfort při měření převodních charakteristik, kde změření celé charakteristiky je provedeno stiskem jednoho tlačítka. Programy v měřicím zařízení a počítači se o vše postarají samy a výsledek se na počítači zobrazí ve formě grafu.

Při vývoji celého zařízení bylo pamatováno na případné další doplňování funkcí a proto jsou všechny nepoužité vývody řídicího procesoru vyvedeny jako porty na desce plošných spojů a mohou se kdykoliv použít pro jiné potřebné funkce.

V přílohách k diplomové práci je umístěna laboratorní úloha určená do předmětu Automobilová elektronika. K této úloze je přiloženo i vzorové vypracování, které dokazuje

funkčnost laboratorního stanoviště, na kterém byla tato úloha změřena. Kromě této úlohy je v přílohách také obsažen snímek obrazovky programu pro PC, který byl vytvořen v LabView. Tento snímek zobrazuje program po dokončení automatického měření převodní charakteristiky, která je vykreslena do grafu. Tento obrázek dokazuje funkčnost tohoto programu.

9. Použitá literatura

- [1] FERENC, Bohumil. Spalovací motory: Praha: Computer Press, 2004. ISBN 80-251-0207-6
- [2] Air-mass meters
URL: http://apps.bosch.com.au/motorsport/downloads/sensors_airmass.pdf
- [3] DS39564C
URL: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39564c.pdf>
- [4] DS232B Version 1.7
URL: http://www.ftdichip.com/Documents/DataSheets/DS_FT232BL.pdf
- [5] Časopis Formule Bosch 1/2005. Praha: Robert Bosch odbytová s.r.o., 2005